



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**VLIV VLHKOSTI MATERIÁLU NA TEPELNÉ VLASTNOSTI  
RUKAVIC**

THE INFLUENCE OF MOISTURE ON THE THERMAL PROPERTIES OF THE GLOVES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Žaneta Gawlasová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.**

**BRNO 2019**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav  
Studentka: **Bc. Žaneta Gawlasová**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Technika prostředí  
Vedoucí práce: **Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Vliv vlhkosti materiálu na tepelné vlastnosti rukavic

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ochranné rukavice proti chladu zabezpečují ochranu dlaní, prstů a hřbetů rukou před zvýšeným odvodem tepla v prostředích s nízkou teplotou. Dle normovaných postupů se rozlišují třídy ochrany pro odvod tepla konvekci a pro odvod tepla vedením (v případě, že se v rukavicích například přenáší předměty s nízkou teplotou). Je však otázkou, jaký vliv na výsledný tepelný odpor rukavic má vlhkost materiálů, které rukavici tvoří. Ideální suchý stav, v kterém se rukavice měří dle normy, nastává totiž v reálné provozu jen výjimečně.

### Cíle diplomové práce:

Cílem je najít metodiku na přesné/nastavitelné a opakovatelné kondicionování rukavic na požadovanou vlhkost, proměření vybraných vzorků rukavic při definovaných vlhkostech a vliv vlhkosti na výsledný tepelný odpor. Prozkoumání dynamiky jevu při nasazení rukavic na manekýna a opakovatelnosti tohoto typu měření.

### Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 511. Ochranné rukavice proti chladu. Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN ISO 15831. Měření tepelné izolace pomocí tepelné figuríny. Český normalizační institut, 2004.

GOLDMAN, R. F. Protecting Personnel At Hazardous Waste Sites - HEAT STRESS IN INDUSTRIAL PROTECTIVE ENCAPSULATING GARMENTS, Butterworth-Heinemann, 1994.

NILSSON, H. O. a I. HOLMER. Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models. Indoor Air. 2003, 13(1), 28-37, DOI: 10.1034/j.1600-0668.2003.01113.x. ISSN 0905-6947.

PSIKUTA, Agnes, Jonas ALLEGRI, Barbara KOELBLIN, et al. Thermal manikins controlled by human thermoregulation models for energy efficiency and thermal comfort research – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews [online]. 2017, 78, 1315-1330. DOI: 10.1016/j.rser.2017.04.115. ISSN 13640321.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na posouzení vlivu vlhkosti materiálu na tepelné vlastnosti rukavic. První část práce je tvořena rešerší témat souvisejících s danou problematikou a zároveň jsou definovány a odvozeny výpočetní vztahy nezbytné pro vyhodnocení experimentálního měření. Stěžejní částí práce je definice hypotéz a experimentů, které slouží k ověření vlivu vlhkosti na tepelný odpor rukavic. V experimentální části jsou popsány jednotlivé metody navlhčování rukavic, z nichž bylo vybráno navlhčování vzdušnou vlhkostí a vlhčení ponořením. Pro ověření vhodnosti jednotlivých metod vlhčení byly testované vzorky měřeny na tepelném manekýnovi v suchém a navlhčeném stavu za podmínek definovaných normami ČSN EN 511 a ČSN EN ISO 15831. Jednotlivé stavy byly opakovaně proměřeny a následně byly graficky zobrazeny průběhy tepelných odporů v závislosti na čase. Součástí práce je také rozbor nejistot měření a vyhodnocení opakovatelnosti měření. Ze získaných výsledků byly v závěru práce potvrzeny jak definované hypotézy, tak i teoretické předpoklady o poklesu tepelného odporu textilního materiálu vlivem působení vlhkosti.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelný odpor, vlhkost, tepelný manekýn, experimentální měření, rukavice

## ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the assessment of the influence of moisture on the thermal properties of the gloves. The first part of the thesis deals with the research of topics related to the given issue as well as with the derivation of the computational relations needed for evaluation of experimental measurements. The main focus of the work lies on defining the hypotheses and experiments that are used to verify the influence of moisture on the thermal resistance of gloves. As for the experimental part, it describes the individual methods of moistening the gloves from which the moistening through the air humidity and the moistening by the immersion were analysed. To verify the suitability of selected moistening methods, the tested glove samples were measured on the thermal manikin both in a dry and a moistened state under the conditions defined by ČSN EN 511 and ČSN EN ISO 15831 standards. Individual states were repeatedly measured and afterwards the progresses of thermal resistance depending on time were graphically displayed. The thesis also includes analysis of measurement uncertainties as well as evaluation of measurement repeatability. From the obtained results, both the defined hypotheses and theoretical assumptions about the decrease of the thermal resistance of a textile material due to the influence of moisture were confirmed in the conclusion of the diploma thesis.

## KEYWORDS

Thermal resistance, moisture, thermal manikin, experimental measurement, gloves

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

GAWLASOVÁ, Žaneta. *Vliv vlhkosti materiálu na tepelné vlastnosti rukavic* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117306>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Bc. Jan Fišer, Ph.D.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Bc. Jana Fišera, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Bc. Žaneta Gawlasová

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla v první řadě poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Bc. Janu Fišerovi, Ph.D. Poděkování mu patří zejména za jeho cenné rady a podnětné návrhy k diplomové práci a také za pomoc při přípravě a řešení experimentální části práce.

Dále děkuji firmě Holík International s.r.o. za příjemnou a dobrou spolupráci a především za poskytnutí experimentálních vzorků rukavic, čímž byl umožněn vznik této diplomové práce.

V neposlední řadě patří poděkování i mé rodině a přáteli, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

# OBSAH

<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Cíle a limity práce.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Navrhnutý postup řešení.....</b>	<b>12</b>
<b>3 Tepelná pohoda a metabolismus člověka .....</b>	<b>13</b>
3.1 Termoregulační systém lidského těla .....	14
<b>4 Parametry ochranných oděvů .....</b>	<b>17</b>
4.1 Fyzikální mechanismy přenosu tepla .....	17
4.1.1 Přenos tepla vedením .....	17
4.1.2 Přenos tepla konvekcí.....	18
4.1.3 Přenos tepla radiací.....	19
4.1.4 Přenos tepla vypařováním.....	20
4.1.5 Přenos tepla dýcháním .....	20
4.2 Tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů .....	20
4.2.1 Tepelná vodivost.....	20
4.2.2 Teplotní vodivost .....	21
4.2.3 Tepelná jímavost .....	21
4.2.4 Měrná tepelná kapacita.....	21
4.3 Tepelný odpor textilních materiálů .....	22
4.4 Přenos tepla z povrchu rukavice do okolí.....	23
4.5 Vliv vlhkosti na tepelný odpor textilního materiálu.....	23
<b>5 Pracovní hypotézy a definice experimentů.....</b>	<b>25</b>
5.1 Hypotéza 1 – Vlhčení rukavic .....	25
5.2 Hypotéza 2 – Měření na tepelném manekýnovi .....	26
5.2.1 Experimentální vzorky rukavic .....	26
5.2.2 Norma ČSN EN 511 .....	27
5.2.3 Norma ČSN EN ISO 15831 .....	28
5.2.4 Popis měřicího zařízení.....	29
5.2.5 Postup pro ověření hypotézy .....	32
5.3 Hypotéza 3 – Vliv vlhkosti.....	33
5.4 Rozbor nejistot měření .....	33
<b>6 Postup měření, zpracování dat a získané výsledky .....</b>	<b>37</b>
6.1 Vlhčení rukavic.....	37
6.1.1 Vzdušné vlhčení .....	37
6.1.2 Kontaktní vlhčení.....	38
6.1.3 Vlhčení ponořením .....	41



6.1.4	<i>Vlhčení v pračce</i> .....	43
6.2	Nastavení experimentálního vybavení.....	44
6.2.1	<i>Kondicionání vzorků rukavic</i> .....	44
6.2.2	<i>Nastavení měřicího systému</i> .....	44
6.3	Měření tepelného odporu suchých rukavic.....	46
6.4	Měření tepelného odporu vlhkých rukavic .....	47
6.5	Souhrnné výsledky z měření na tepelném manekýnovi .....	48
<b>7</b>	<b>Zhodnocení a diskuze</b> .....	<b>54</b>
7.1	Potvrzení/vyvrácení hypotéz .....	54
	<b>Závěr</b> .....	<b>56</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>57</b>
	<b>Seznam použitých symbolů a zkratek</b> .....	<b>60</b>

## ÚVOD

Obecným požadavkem na většinu ochranných oděvů, ať už určených pro práci, sport či ochranu částí lidského těla před okolními vlivy, je komfort. Pokud se člověk v daném oděvu cítí nepříjemně, je narušena jeho psychická pohoda a po určité době mohou být omezeny kognitivní schopnosti. V extrémních případech mohou nastat situace, kdy je nutné odložit oděv způsobující nepohodu, a to i na úkor toho, že nechráněná část lidského těla bude vystavena mnohdy nebezpečným okolním vlivům.

Mezi ochranné osobní pomůcky patří bezesporu rukavice, které jsou nedílnou součástí historie od samotných počátků až do současnosti. Nejdříve plnily rukavice především ochrannou funkci při běžných pracích, postupem času začaly také symbolizovat společenský status svého majitele. V historických pramenech lze nalézt první zmínky o používání rukavic z období vlády XXI. královské dynastie Starověkého Egypta, kdy je faraoni nosili na důkaz svého vysokého postavení, ženy zase za účelem ochrany svých rukou při práci nebo i jídle. Z historických nálezů a dokumentů lze používání rukavic zaznamenat i v období starověku z oblasti Persie, odkud se nošení rukavic rozšířilo dále do Antického Řecka a Starověkého Říma. Z Říma, jakožto centra katolické církve, bylo využití rukavic rozšířeno i do církevní sféry, čímž se staly nedílnou součástí duchovních a církevních obřadů. Ve středověku pak rukavice našly své uplatnění jako součást rytířské zbroje. Vývojem kultur rukavice získaly mnoho dalších funkcí a významů a začal být, mimo estetickou stránku, kladen důraz i na funkčnost a materiální složení rukavic. Vzniklo tak mnoho oblastí, ve kterých najdou rukavice své specifické uplatnění, např. ochrana proti nepříznivému počasí (chlad, déšť), pracovní ochranné pomůcky, zásahové rukavice, sportovní a lékařské vybavení a mnoho dalších. [1]

Tak jako v jiných oborech, tak i v oblasti konstrukce a vývoje rukavic se dostávají stále více do popředí netradiční materiály, které nahrazují klasické přírodní materiály. Tyto materiály často vykazují výrazně lepší užité vlastnosti jako například propustnost pro vodní páry vznikající při pocení rukou, dále mechanická odolnost a pevnost při zachování oděvního komfortu, odolnost proti vznícení apod. V návaznosti na výzkum nových konstrukčních materiálů jsou zároveň kladeny i vyšší požadavky na testování rukavic, a to již v průběhu vývoje, kdy je možné odhalit případné nedokonalosti a ověřit vhodnost kombinace jednotlivých konstrukčních vrstev.

Cílem práce bylo zhodnocení vlivu vlhkosti materiálu rukavic na jejich celkový tepelný odpor. Za tímto účelem byla navržena metodika měření na základě pokynů normy ČSN EN 511, specifikující požadavky a metody zkoušení pro rukavice chránící proti chladu, a rovněž normy ČSN EN ISO 15831, která popisuje požadavky na tepelnou figurínu. Vzorky rukavic pro experimenty poskytla firma Holík International s.r.o., přičemž se jednalo o typ rukavic určený pro venkovní aktivity v lese. Z výsledků měření byla poté vyhodnocena míra ovlivnění tepelného odporu rukavic působením vlhkosti konstrukčních materiálů. Rovněž byla diskutována dynamika jevu vyskytujícího se při nasazení vlhkých rukavic na ruku manekýna.

# 1 CÍLE A LIMITY PRÁCE

## CÍLE PRÁCE

- Nalezení metodiky na přesné a opakovatelné kondicionování rukavic na požadovanou vlhkost.
- Proměření vybraných vzorků při definovaných vlhkostech.
- Prozkoumání dynamiky jevu při nasazení rukavic na manekýna a zjištění opakovatelnosti měření.
- Zhodnocení vlivu vlhkosti na výsledný tepelný odpor rukavic.

## LIMITY PRÁCE

- Práce se zabývá zkoumáním vlivu vlhkosti pouze u vnějších konstrukčních vrstev rukavice, které jsou umístěny nad voděodolnou membránou.

## 2 NAVRHNUTÝ POSTUP ŘEŠENÍ

### REŠERŠE

- Rešerše problematiky metabolismu lidského organismu a interakce lidského těla s okolním prostředím.
- Získání poznatků týkajících se parametrů ochranných oděvů, zejména tepelného odporu oděvu a vlivu vlhkosti na tepelný odpor materiálu.
- Volba navlhčování rukavic a zjištění opakovatelnosti zvolených metod.
- Uspořádání jednotlivých postupů měření.

### MĚŘENÍ

- Měření tepelného odporu rukavic v suchém stavu.
- Měření tepelného odporu rukavic navlhčených vybranými metodami.

### VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

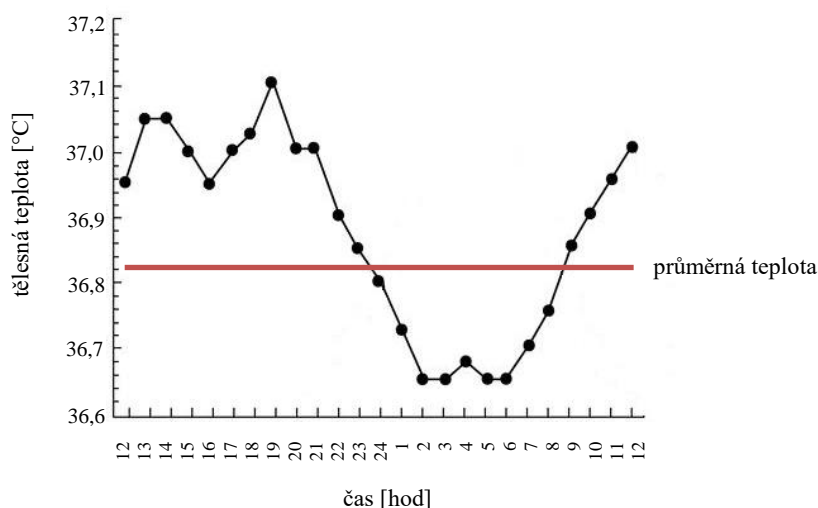
- Zpracování naměřených dat v MS Excel.
- Zpracování dat do grafické podoby.
- Prozkoumání dynamiky jevu při nasazení vlhkých rukavic na tepelného manekýna a porovnání se suchým stavem.

### ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR

### 3 TEPELNÁ POHODA A METABOLIZMUS ČLOVĚKA

Zdravý lidský organismus se neustále snaží udržovat svou tělesnou teplotu na stálé hodnotě přibližně 37 °C, a to prostřednictvím termoregulačních mechanismů lidského těla. Stálá tělesná teplota je esenciální hodnotou (podobně jako hodnota pH, obsah kyslíku v krvi, glukózy atd.) pro zachování správného chodu metabolických a funkčních procesů v lidském těle a i malá změna této teploty představuje silné narušení uvedených procesů. Například teplota jádra nižší než 28 °C vede k vážné srdeční arytmií, a naopak teplota jádra vyšší než 43 °C může způsobit nenávratné poškození mozku [2]. Obě tyto extrémní situace zároveň představují přímé nebezpečí smrti v důsledku hypotermie (podchlazení), respektive hypertermie (přehřátí).

Tělesná teplota vykazuje mírné kolísání okolo průměrné hodnoty, a to v závislosti na denním rytmu, tzv. cirkadiánním rytmu, kdy dochází ke změnám aktivity, a tím i intenzitě metabolických pochodů v lidském organismu. Tělesná teplota dosahuje svého minima v průběhu spánku v důsledku zpomalení metabolických procesů. Naopak nárůst teploty lze pozorovat v průběhu dne, kdy je zvýšení teploty ovlivněno uvolněnou energií, jejíž množství je závislé především na fyzické aktivitě, věku a tělesné konstituci člověka, klimatických podmínkách a mnoha dalších faktorech. Typický průběh tělesné teploty lidského těla během dne je zobrazen na obr. 1.



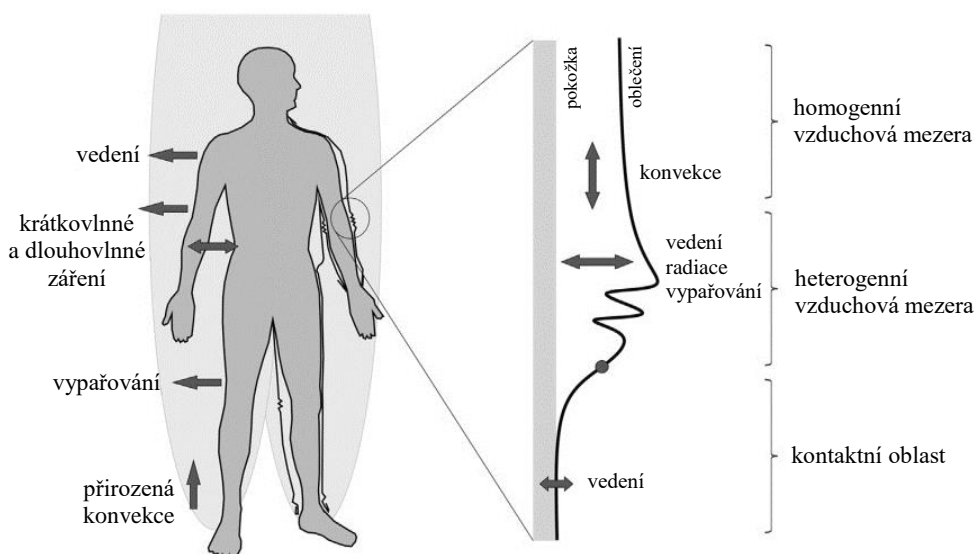
**Obr. 1** Tělesná teplota lidského těla v průběhu dne [3]

Základním předpokladem pro stabilní teplotu jádra lidského těla je dosažení tepelné rovnováhy s okolním prostředím. Ta je elementární, nikoliv však postačující, podmínkou pro tepelný komfort, aby produkce tepla v těle a mechanismy odvádějící teplo z těla byly v rovnováze. Tento děj lze popsat rovnicí [4]:

$$\dot{Q}_M = \dot{Q}_K + \dot{Q}_C + \dot{Q}_R + \dot{Q}_E + \dot{Q}_S \quad [W] \quad (1)$$

Rovnice (1) vyjadřuje děj, kdy je metabolický tepelný tok generovaný v těle ( $\dot{Q}_M$ ) roven tepelnému toku odvedenému do okolí prostřednictvím vedení ( $\dot{Q}_K$ ), konvekce ( $\dot{Q}_C$ ), záření ( $\dot{Q}_R$ ) a vypařování ( $\dot{Q}_E$ ). Rozdílem veškerého generovaného a odevzdaného tepla lze stanovit míru akumulace tepla v těle ( $\dot{Q}_S$ ). Hodnota akumulované tepelné energie ( $\dot{Q}_S$ ) je ukazatelem rizika vzniku hypertermie, která nastane v případě přebytku produkovaného metabolického tepla ( $\dot{Q}_S > 0$ ). V opačném případě, kdy dojde k úbytku metabolického tepla, hodnota akumulovaného tepla bude záporná ( $\dot{Q}_S < 0$ ) a organismus může dospět do stavu hypotermie.

Je-li lidské tělo v tepelné rovnováze, tj. udržuje konstantní teplotu jádra, k akumulaci tepla nedochází ( $\dot{Q}_S = 0$ ). [5]



**Obr. 2** Mechanizmy přenosu tepla z povrchu lidského těla a ve vrstvě oděvu [6]

Při snaze udržovat tělesnou teplotu v tepelné rovnováze s okolím je vždy podstatné, jakým způsobem reaguje lidské tělo na teplotní změny prostředí. Nelze uvažovat stav tepelné pohody, reaguje-li lidský organismus nepřiměřeně, např. v podobě snížení teploty pokožky končetin v chladných podmínkách nebo v opačném případě nadměrným pocením v horkém prostředí. Tepelné rovnováhy by tedy mělo být dosaženo bez výrazného zásahu termoregulačního systému lidského těla.

Podmínky tepelné pohody jsou definovány šesti základními faktory, jejichž vzájemné vztahy lze popsat funkční závislostí, která je považována za rovnici tepelné rovnováhy. [4]

$$\dot{Q}_M = f(t_a, t_r, w, \varphi, R_{cl}, f_{cl}) \quad (2)$$

Kde:	$\dot{Q}_M$	metabolický tepelný tok generovaný v těle	[W]
	$t_a$	teplota vzduchu	[°C]
	$t_r$	střední radiační teplota	[°C]
	$w$	rychlost proudění vzduchu	[m · s <sup>-1</sup> ]
	$\varphi$	relativní vlhkost vzduchu	[%]
	$R_{cl}$	tepelný odpor oděvu	[m <sup>2</sup> · K · W <sup>-1</sup> ]
	$f_{cl}$	faktor zvětšení povrchu těla oděvem	[-]

### 3.1 TERMOREGULAČNÍ SYSTÉM LIDSKÉHO TĚLA

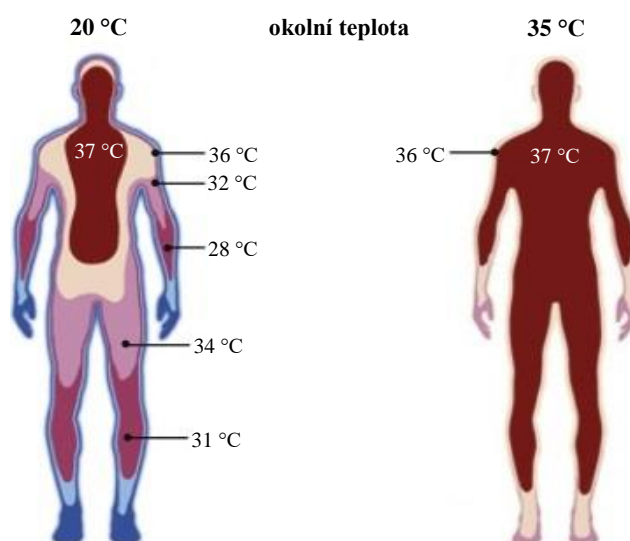
Funkcí každého živého organismu je snaha udržovat stabilní tělesnou teplotu v daných teplotních mezích. Proces, který zajišťuje udržet stabilní tělesnou teplotu lidského jádra i při výkyvech příjmu, produkce a výdeje tepla, je nazýván termoregulace. Centrem

fyziologické termoregulace je část mozku zvaná hypotalamus. Ten reaguje na signály z termoreceptorů a vyhodnocuje je.

Termoreceptory jsou neurony, které se převážně nacházejí v předním hypotalamu, a reagují na změnu teploty uvnitř těla. Druhá část hypotalamu, zadní hypotalamus, registruje signály z termoreceptorů umístěných v periferních částech těla, tedy končetin a kůže. Příkladem termosenzitivních kožních neuronů je tzv. Ruffiniho tělísko, kdy se jedná o volné nervové zakončení v pokožce prstů rukou a nohou. Je teplotně závislé – se snižující se okolní teplotou klesá jeho citlivost, naopak se zvyšující se teplotou okolí citlivost stoupá. [7]

Lidské tělo je z termoregulačního hlediska složeno ze dvou na sobě závislých složek, a to z tepelného jádra a tepelné povrchové vrstvy. K tepelnému jádru náleží orgány s vysokou látkovou přeměnou, tj. vnitřní orgány dutiny břišní, hrudní a lebeční. Teplota jádra za běžných podmínek kolísá v rozmezí 35–37,3 °C, avšak za relativně konstantní teplotu jádra lze považovat hodnotu 37 °C [8]. Teplota jádra je obecně nezávislá na okolní teplotě, což je i důsledkem toho, že je jádro od okolí izolováno tukovou vrstvou, podkožním vazivem a kůží.

Na druhou stranu teplota tepelné povrchové vrstvy, která je tvořena kůží, podkožím, tukovou vrstvou a končetinami, je oproti teplotě jádra variabilnější. Je závislá především na parametrech okolního prostředí uvedených v rovnici (2), kdy má největší vliv na teplotu povrchu těla teplota okolí. Jak lze vidět na obr. 3, při teplotě okolí 20 °C je teplotní gradient mezi jádrem a vnější povrchovou vrstvou (a tím i přenos tepla) větší, než při teplotě okolí 35 °C, kdy dochází k vyrovnávání teplotního rozdílu mezi jádrem a povrchovou vrstvou a člověk situaci vnímá jako tepelný diskomfort.



**Obr. 3** Vliv okolní teploty na rozložení teplot v lidském těle [9]

Termoregulační mechanismy jsou běžně významně podpořeny i tzv. behaviorální termoregulací, kdy si člověk přirozeně svlékne oblečení při pocitu horka nebo se schová do stínu před nadměrným slunečním zářením, a naopak, při pocitu chladu, se oblékne, schoulí nebo vyhledá zdroj tepla [10]. Fungování lidského termoregulačního systému je schematicky znázorněno na obr. 4.

Při teplotních změnách okolí nemusí být vždy výše uvedené termoregulační mechanismy dostačující a hypotalamus je nucen reagovat na snížení, resp. zvýšení, teploty jádra způsoby, které nejsou již samotným člověkem ovlivnitelné.

### • REAKCE LIDSKÉHO ORGANISMU NA POKLES TĚLESNÉ TEPLoty

V případě, že je teplota okolního prostředí nižší než teplota lidského těla, dochází k odevzdávání tepla z povrchu těla do okolí. Aby nedošlo k podchlazení těla, spustí hypotalamus obranné mechanismy, kterými mohou být vazokonstrikce a tzv. třesová a netřesová termogeneze.

*Vazokonstrikce* způsobí stažení cév, důsledkem čehož je redukováno prokrvení periferních částí těla, zejména končetin, a tím i snížení přenosu tepla z lidského těla do okolí. Hypotalamus touto reakcí chrání životně důležité orgány uvnitř těla na úkor částí okrajových, čímž zabraňuje podchlazení. Při dlouhodobé expozici člověka velmi chladným podmínkám může dojít k omrzlinám okrajových částí těla, především konečků prstů. Z tohoto jevu pramení důležitost použití ochranných pomůcek, jako rukavic a obuvi, které omezí působení extrémního chladu.

*Třesová termogeneze*, neboli svalový třes, je vědomě neovlivnitelná reakce na chlad, kdy dochází ke kontrakcím kosterního svalstva. Energie uvolňována stahy svalstva, které nevykonávají mechanickou práci, je využita pro tvorbu dodatečného metabolického tepla, čímž dojde k zahřátí organismu. Svalovým třesem lze dosáhnout 2 až 5násobného zrychlení metabolismu. [11]

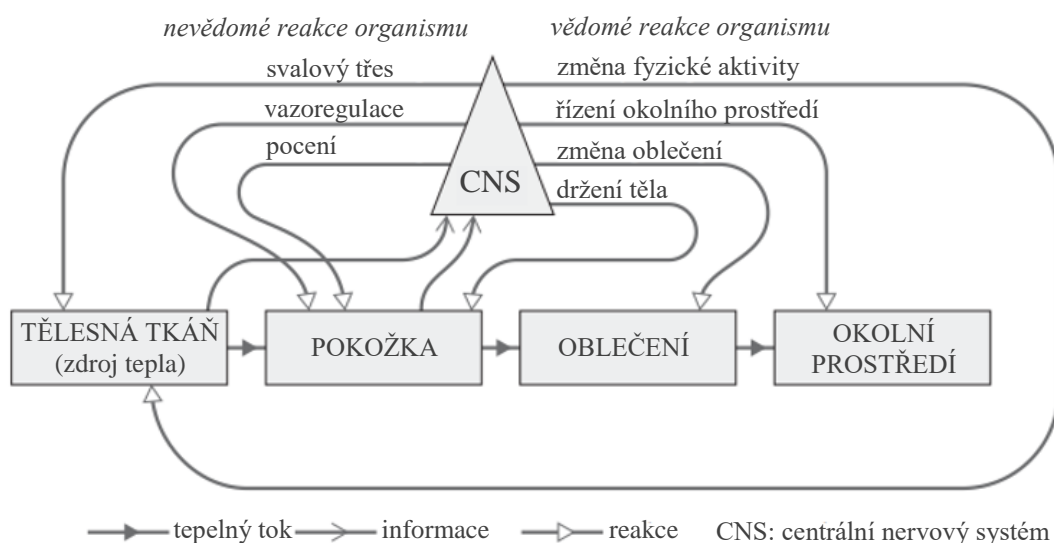
*Netřesová termogeneze* nastává při dlouhodobém působení nízkých teplot. Je definována jako tvorba tepla v důsledku látkových přeměn procesy, které již nezahrnují svalový třes. Vyvíjí se v průběhu adaptace na chlad a zvyšuje celkovou metabolickou kapacitu organismu. [11]

### • REAKCE LIDSKÉHO ORGANISMU NA ZVÝŠENÍ TĚLESNÉ TEPLoty

Nachází-li se člověk v prostředí o vysoké teplotě, dochází vlivem přenosu tepla z prostředí do lidského těla ke zvýšení tělesné teploty a hrozí riziko přehřátí. Lidský organismus reaguje na tuto situaci následujícími termoregulačními jevy:

*Vazodilatace* způsobí rozšíření cév, čímž se zvýší průtok krve do periferních částí těla, zejména pokožky. V důsledku vazodilatace dochází v první řadě ke snížení teplotního gradientu mezi jádrem a pokožkou. Uplatní-li se následovně i pocení, dojde v důsledku odpařování potu ke zvýšení daného teplotního gradientu a nastává tak intenzivní odvod tepla z pokožky do okolí.

*Pocení* nastává v případě, vyskytuje-li se člověk v horkém a suchém prostředí. Jedná se o jeden z nejvýznamnějších termoregulačních mechanismů, který spočívá ve vylučování potu na pokožce. Podrobněji je vypařování potu popsáno v podkapitole 4.1.4.



**Obr. 4** Schéma termoregulačního systému lidského těla [12]



## 4 PARAMETRY OCHRANNÝCH ODĚVŮ

Osobní ochranné pomůcky (rukavice, obuv, oblečení atd.) musí obecně zajistit ochranu částí lidského těla před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Pod danými vlivy si lze představit kupříkladu chlad (ochrana v podobě rukavic s tepelnou izolací), mechanické účinky (použití helmy, rukavic proti pořezání), toxické látky (využití respirátorů, ochranných rukavic či izolačních oděvů), životu nebezpečné ionizační záření (ochranné pomůcky proti rentgenovému záření) atd. Technicky a konstrukčně jsou největší výzvou takové ochranné pomůcky, které kombinují schopnost ochránit dané části lidského těla před více nepříznivými vlivy najednou, například zateplená motocyklistická přilba chrání jak proti mechanickému poškození, tak i proti chladu.

Co se týče klimatických podmínek, tak v chladných podmínkách by měl oděv/ochranná pomůcka zabezpečit dostatečnou tepelnou izolaci, aby bylo zabráněno nadměrným tepelným ztrátám z lidského těla do okolí. Naopak v horkém prostředí musí být oděv schopen odvádět vlhkost a teplo z povrchu těla za účelem prevence přehřátí.

Pro bližší specifikaci výše uvedených vlastností všech ochranných oděvů je nezbytné definovat základní mechanizmy přenosu tepla mezi lidským tělem a okolím.

### 4.1 FYZIKÁLNÍ MECHANIZMY PŘENOSU TEPLA

Stav tepelné rovnováhy a fyziologické procesy přenosu a generování tepla jsou zprostředkovány fyzikálními jevy, kdy se jedná se o mechanizmy tepelné výměny člověka s okolím, kterými jsou vedení, konvekce, radiace, vypařování a dýchání.

#### 4.1.1 PŘENOS TEPLA VEDENÍM

Vedení je přenos tepla prostřednictvím molekul (kapalin a plynů) nebo atomů (pevné látky). Dotkne-li se člověk horkého předmětu, tak teplo, které pocítí, je teplo přenesené z předmětu na kůži prostřednictvím vedení. Vedením tedy dochází k šíření kinetické energie z částic o vyšší teplotě (tím i energie) na částice o teplotě nižší. Lze konstatovat, že přenos tepla vedením probíhá za existence dvou nezbytných podmínek, a to:

- Vedení je vázáno výhradně na materiální prostředí, kdy částice hmoty mezi sebou bezprostředně sousedí.
- Existence teplotního gradientu – po vyrovnání teplot sousedících předmětů gradient klesne a výměna tepla dále nepokračuje.

Tepelný tok přenesený vedením je přímo úměrný rozdílu teplot a je popsán Fourierovým zákonem, kde znaménko mínus udává, že tepelný tok proudí opačným směrem než je směr teplotního spádu [13]:

$$\dot{q}_{ved} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad (3)$$

Kde:	$\dot{q}_{ved}$	hustota tepelného toku přeneseného vedením	$[W \cdot m^{-2}]$
	$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
	$\frac{dT}{dx}$	teplotní gradient ve směru šíření osy x	$[K \cdot m^{-1}]$

V případě jednorozměrného vedení lze hustotu tepelného toku vedením vyjádřit jako:

$$\dot{q}_{ved} = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\delta} = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\delta} \quad (4)$$

Kde:  $T_1$  teplota povrchu o vyšší teplotě  $[^{\circ}C]$

$T_2$  teplota povrchu o nižší teplotě  $[^{\circ}C]$

$\delta$  tloušťka vrstvy  $[m]$

Je-li rovnice (4) upravena do takové podoby, kdy je jmenovatelem poměr tloušťky vrstvy  $\delta$  ku součiniteli tepelné vodivosti vrstvy  $\lambda$ , tak je tímto podílem vyjádřen měrný tepelný odpor vrstvy proti vedení tepla:

$$R_{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda} \quad (5)$$

Kde:  $R_{\lambda}$  měrný tepelný odpor vrstvy proti vedení tepla  $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$

Nejčastěji dochází ke ztrátám vedením kontaktem končetin (dlaně a chodidla) s daným povrchem, nebo při sezení (kontakt se sedadlem) a ležení (kontakt s podložkou). Při přenosu tepla skrz oblečení je významnou oblastí tepelných ztrát vedením místo, kde je vrstva oblečení v přímém kontaktu s pokožkou, viz kontaktní oblast znázorněná na obr. 2.

#### 4.1.2 PŘENOS TEPLA KONVEKČÍ

Přenos tepla konvekcí nastává tehdy, je-li povrch o teplotě  $T_W$  vystaven proudu tekutiny o teplotě  $T_{\infty}$ . Dle charakteru proudění lze konvekci klasifikovat na konvekci přirozenou a nucenou.

Přirozená konvekce se vztahuje k případu, kdy je pohyb tekutin dán gradientem hustot spojeným s teplotními změnami způsobenými ohřevem nebo ochlazením. Při zvýšení teploty tekutiny klesne její hustota a působením vztlačových sil je vytlačena tekutinou chladnější.

Nucená konvekce je pohyb tekutiny v důsledku působení vnějších sil. Typickým příkladem je ve vnějším prostředí vítr nebo vzduch uvedený do pohybu v důsledku činnosti ventilátoru.

Nezbytnou podmínkou pro přenos tepla prouděním je, stejně jako u vedení, existence materiálního prostředí a teplotního spádu mezi obtékaným tělesem a okolním prostředím. Hustota tepelného toku odvedeného prouděním je poté vyjádřena Newtonovým ochlazovacím zákonem [13]:

$$\dot{q}_k = \alpha \cdot (T_W - T_{\infty}) \quad (6)$$

Kde:  $\dot{q}_k$  hustota tepelného toku prouděním  $[W \cdot m^{-2}]$

$\alpha$  součinitel přestupu tepla  $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

$T_W$  teplota obtékaného povrchu  $[^{\circ}C]$

$T_{\infty}$  teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu  $[^{\circ}C]$

Rovnici (6) lze upravit do následující podoby:

$$\dot{q}_k = \frac{(T_W - T_\infty)}{\frac{1}{\alpha}} \quad (7)$$

Provedením této úpravy je ve jmenovateli získán vztah pro měrný tepelný odpor proti přenosu tepla konvekcí:

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha} \quad (8)$$

Kde:  $R_\alpha$  měrný tepelný odpor vrstvy proti přenosu tepla konvekcí  $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$

V souvislosti k lidskému tělu lze konvekci demonstrovat na příkladu, kdy je tělo vystaveno v horkém prostředí proudu vzduchu o nižší teplotě, čímž dochází k odvodu tepla z povrchu pokožky o teplotě vyšší.

#### 4.1.3 PŘENOS TEPLA RADIACÍ

Radiace, neboli záření, nepředpokládá na rozdíl od vedení a konvekce existenci hmotného prostředí, což znamená, že přenos tepla zářením je možný i ve vakuu.

Přenos tepla zářením je uskutečňován prostřednictvím elektromagnetického záření o různých vlnových délkách. V závislosti na vlastnostech povrchu, na který dopadá záření, může být vyzářená energie pohlcena, odražena nebo může dojít k průchodu zářivého toku objektem. Vlastnosti látek lze pak z pohledu přenosu tepla zářením rozdělit na:

- absorptanci  $A$  – schopnost pohlcovat záření
- reflektanci  $R$  – schopnost odrážet záření
- transmitanci  $T$  – schopnost propouštět záření

Dle 1. Kirchhoffova zákona optiky platí, že součet absorptance, reflektance a transmitance je roven 1.

Další významnou vlastností materiálu je schopnost vyzařovat záření, která je dána tzv. emisivitou  $\varepsilon$ . Ta je definována jako poměr vyzářené energie reálného tělesa k zářivosti absolutně černého tělesa se stejnou teplotou. Podle 2. Kirchhoffova zákona, jenž popisuje vzájemnou závislost mezi pohltivostí a emisivitou těles, je ve stavu tepelné rovnováhy pohltivost tělesa rovna jeho emisivitě.

U každého tělesa s teplotou vyšší než 0 K dochází k vyzařování energie prostřednictvím elektromagnetických vln. Lidské tělo, jakožto hmotný objekt o teplotě vyšší než 0 K, je také zdrojem tepelného záření. Maximální energie, která může být z povrchu vyzářena je dána Stefan-Boltzmannovým zákonem [13]:

$$E_0 = \sigma \cdot T_W^4 \quad (9)$$

Kde:  $E_0$  vlastní zářivost černého tělesa  $[W \cdot m^{-2}]$   
 $\sigma$  Stefan-Boltzmannova konstanta  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$   $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$   
 $T_W$  teplota povrchu  $[K]$

Rovnice (9) udává vztah pro ideální zářič, tzv. černé těleso. Energie vyzářena každým reálným povrchem je dána následující rovnicí:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_W^4 \quad (10)$$

Kde:  $E$  vlastní zářivost reálného (šedého) tělesa [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$\varepsilon$  emisivita materiálu ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ) [-]

Proces tepelných ztrát zářením je významný zejména v plynech a ve vakuu, kdy se v prostoru nenacházejí žádné překážky.

#### 4.1.4 PŘENOS TEPLA VYPAŘOVÁNÍM

Při teplotních změnách okolí je význačným způsobem přenosu tepla vypařování (evaporace) potu z povrchu lidského těla. Jedná se o jediný možný způsob tepelné výměny v situaci, kdy je teplota okolí vyšší než teplota těla. Z fyzikálního hlediska se jedná o konvektivní přenos tepla při současně fázové přeměně kapaliny v plyn.

Pot, jenž je směsí převážně vody a iontů, má vysokou hodnotu výparného tepla, prakticky rovnou výparnému tepla vody, a tudíž se v horkém a suchém prostředí dobře odpařuje. Svou přeměnou v páru odebírá změnou skupenství z pokožky teplo a dochází k ochlazení.

Při vypařování potu je důležitým faktorem relativní vlhkost vzduchu. V případě, že není okolní vzduch nasycen vlhkostí, dochází k odpařování potu, a tím k odvodu tepla z pokožky. Se stoupající relativní vlhkostí vzduchu je účinek evaporace výrazně snížen a je-li vzduch nasycený, proces odpařování je zcela zastaven. Je patrné, že výsledná tepelná ztráta je závislá nejen na výparném skupenském teple, ale i na rozdílu parciálních tlaků vodních par.

#### 4.1.5 PŘENOS TEPLA DÝCHÁNÍM

Tepelné ztráty dýcháním jsou způsobené prouděním vzduchu dýchacími cestami. Při dýchání proudí vzduch do dýchací soustavy, kde následně dochází k výměně tepla mezi přiváděným a odváděným vzduchem. Teplo se dále přenáší také konvekcí mezi vdechovaným vzduchem a sliznicemi. [14]

### 4.2 TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ

Tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů obecně představují míru ochrany proti chladu, eventuálně vysokým teplotám, kterou je daná textilie schopna poskytnout. Jsou ovlivněny jak parametry použitých vláken (hustota, jemnost, druh), tak i tloušťkou a strukturou textilie, obsahem vzduchu v textilii, okolní teplotou a dalšími faktory (prodyšnost, zaplnění atd.).

Mezi nejdůležitější tepelně izolační vlastnosti materiálů patří tepelná a teplotní vodivost, tepelná jímavost a měrná tepelná kapacita, jež jsou popsány v následujících podkapitolách [15]. Nejvýznamnější tepelně izolační vlastností materiálu – tepelnému odporu – bude věnována samostatná kapitola, jelikož je tato vlastnost i jedním z hlavních předmětů diplomové práce.

#### 4.2.1 TEPELNÁ VODIVOST

Tepelná vodivost je fyzikální veličina, která vyjadřuje schopnost dané látky vést teplo. Je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  a jak již plyne z názvu, přímo souvisí s přenosem tepla prostřednictvím vedení a lze ji definovat úpravou Fourierova zákona:

$$\lambda = -\frac{\dot{q}_{ved}}{grad\ T} \quad (11)$$

Kde:	$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
	$\dot{q}_{ved}$	hustota tepelného toku přeneseného vedením	$[W \cdot m^{-2}]$
	$grad\ T$	gradient teploty	$[K \cdot m^{-1}]$

Součinitel  $\lambda$  je materiálová konstanta a není pro každý materiál stejná. Mění se v závislosti na hustotě materiálu, teplotě a vlhkosti okolního vzduchu, směru tepelného toku, prodyšnosti materiálu apod. [15]

#### 4.2.2 TEPLITNÍ VODIVOST

Pod pojmem teplotní vodivost je uvažována schopnost materiálu vyrovnávat rozdíl teplot při nestacionárním vedení tepla. Čím je hodnota teplotní vodivosti vyšší, tím textilie rychleji vyrovnává teplotní změny a teplota v daném místě materiálu je více závislá na změnách teploty povrchu materiálu. Teplotní vodivost je definována vztahem [13]:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (12)$$

Kde:	$a$	součinitel teplotní vodivosti	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
	$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
	$c_p$	měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
	$\rho$	hustota materiálu	$[kg \cdot m^{-3}]$

#### 4.2.3 TEPELNÁ JÍMAVOST

Tepelná jímavost charakterizuje dle [15] tepelný omak textilií a určuje dynamiku tepelného děje při kontaktu materiálu s okolními předměty. Úzce souvisí s tepelným odporem materiálu. Má-li vlákno textilie nízký tepelný odpor, jeho tepelná jímavost je vyšší. Při dotyku je takové vlákno pocitově vnímáno jako chladnější, než vlákno o stejné teplotě, avšak vyšším tepelným odporem, a tím nižší tepelné jímavosti. Lze říci, že jako chladnější materiál je vnímán ten, jenž má větší hodnotu tepelné jímavosti. Je definována vztahem [15]:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (13)$$

Kde:	$b$	tepelná jímavost	$[W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
	$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
	$\rho$	hustota materiálu	$[kg \cdot m^{-3}]$
	$c$	měrná tepelná kapacita	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

#### 4.2.4 MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA

Tepelná kapacita je definována jako schopnost materiálu přijímat teplo. Jestliže látka přijme teplo a následně dojde ke zvýšení její teploty, lze konstatovat, že má látka tepelnou kapacitu.

Po fyzikální stránce je měrná tepelná kapacita množství tepla, které je potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 K [13]:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta t} \quad (14)$$

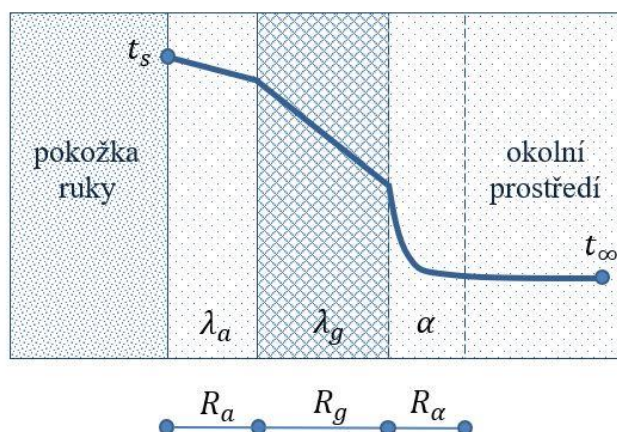
Kde:	$c$	měrná tepelná kapacita	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
	$m$	hmotnost tělesa	$[kg]$
	$\Delta Q$	množství tepla	$[J]$
	$\Delta t$	rozdíl teplot	$[K]$

Oděvy s vysokou hodnotou měrné tepelné kapacity jsou pro člověka účelné zejména v zimním období, jelikož produkované tělesné teplo zůstává v takovém oděvu uchováno déle a tepelné ztráty do okolí jsou tím minimalizovány. Zároveň však musí platit i dostatečná hodnota tepelného odporu daného oděvu.

### 4.3 TEPELNÝ ODPOR TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ

Pro hodnocení tepelně izolačních vlastností je tepelný odpor nejvýznamnější, protože je tímto parametrem přímo charakterizována míra tepelné izolace. Obecně udává odpor, který materiál klade při průchodu tepla, viz rovnice (5).

Izolační vlastnosti a chování textilií při nošení lze nejkomplexněji vyjádřit celkovým tepelným odporem, který je výsledkem kombinace přenosu tepla konvekcí a vedením. V systému ruka–rukavice–okolí je přenosu tepla kladen odpor vedením tenkou vrstvou vzduchu  $R_a$ , která se nachází mezi pokožkou ruky o teplotě  $t_s$  a vnitřním povrchem rukavice, dále odpor vedením rukavicí  $R_g$  a následuje odpor mezní vrstvy  $R_\alpha$ , tedy odpor vůči přestupu tepla z vnějšího povrchu rukavice do okolního prostředí o teplotě  $t_\infty$ .



**Obr. 5** Schéma prostupu tepla z oblečené ruky do okolního prostředí

Jednotlivé odpory jsou uspořádány v sérii, a tudíž je možné je sčítat. Výsledná hustota tepelného toku je poté rovna:

$$\dot{q} = \frac{t_s - t_\infty}{R_a + R_g + R_\alpha} \quad (15)$$

Rukavice je složena z několika vrstev, mezi kterými se také nachází tenká vrstva vzduchu, která zvyšuje celkový tepelný odpor rukavice. Vzduchová vrstva mezi rukou a rukavicí plní stejnou funkci jako vzduchové vrstvy v rukavici samotné, a proto ji lze považovat za součást tepelného odporu rukavice s označením  $R_G$ :

$$R_G = R_a + R_g \quad (16)$$

Celkový tepelný odpor je poté možné vyjádřit jednou proměnnou  $R_{TOT}$ :

$$R_{TOT} = R_G + R_\alpha \quad (17)$$

Při měření tepelného odporu rukavic jsou měřenými veličinami teplota povrchu těla, teplota okolního prostředí a hustota tepelného toku. Jedinou neznámou je celkový odpor, který je po dosazení dílčích rovnic do rovnice (15) a následným vyjádřením rovnice roven:

$$R_{TOT} = \frac{t_s - t_\infty}{\dot{q}} \quad (18)$$

Nejvýznamnějšími faktory ovlivňujícími tepelný odpor je tloušťka a tepelná vodivost materiálu. Čím větší je tloušťka vrstvy, tím větší je tepelný odpor. Kvalitní tepelná izolace je pak charakterizována nízkým součinitelem tepelné vodivosti a vysokou hodnotou tepelného odporu.

#### 4.4 PŘENOS TEPLA Z POVRCHU RUKAVICE DO OKOLÍ

Mechanismus přenosu tepla z povrchu ruky, přes materiál rukavice a dále do okolí je řízen výše uvedeným schématem (viz obr. 5). Je však nutno podotknout, že tepelný tok z povrchu rukavic do okolí bude zprostředkován jednak konvekcí, ale také radiací, a pokud budou rukavice navlhčené, dojde paralelně i k přenosu tepla v důsledku odpařování vody.

Vzhledem k tomu, že tepelný manekýn měří tepelný tok nezbytný pro udržení nastavené povrchové teploty, jehož velikost je ovlivněna všemi výše uvedenými fenomény, je i výsledný tepelný odpor rukavic hodnota, která v sobě zahrnuje kombinaci a efekt všech mechanismů přenosu tepla z povrchu rukavice.

S ohledem na zaměření práce nebude dále popis přenosu tepla z povrchu rukavic detailněji řešen, neboť podmínky testování v klimatické komoře budou pro všechny měřené případy stejné a výsledné rozdíly v tepelném odporu by měly být ovlivněny pouze obsahem vlhkosti v materiálu rukavic.

#### 4.5 VLIV VLHKOSTI NA TEPELNÝ ODPOR TEXTILNÍHO MATERIÁLU

Přítomnost vlhkosti v materiálech působí nepříznivě, jelikož zvyšuje tepelnou vodivost, důsledkem čehož je snižován tepelný odpor textilie. Tento jev je způsoben částečným zaplněním vzduchových pórů v materiálu vodou, která má řádově vyšší tepelnou vodivost než vzduch. Pro izolační vlastnosti nejvýznamnější suché póry se přeměňují v póry nasycené vodou a představují tepelné mosty, které nebrání přenosu tepla. [16]

Tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů ovlivněné vlhkostí výrazně souvisí s hydromechanickými vlastnostmi textilních materiálů, z nichž jsou pro účely diplomové práce nejvýznamnější hydroskopičnost, nasákavost a vysychavost.

*Hydroskopičnost* udává schopnost daného materiálu pohlcovat vlhkost ze vzduchu. Úzce souvisí se schopností textilních vláken přijímat (odvádět) vlhkost a tloušťce vláken, což poté značně ovlivňuje nasákavost a vysychavost oděvu. Lze říci, že čím je textilie hrubší, tím

pomaleji nasává i propouští vodu, čímž je zajištěna vyšší stabilita vlhkostního a tepelného mikroklimatu mezi tělem a oděvem. [14]

*Nasákavost* je schopnost textilie absorbovat a fyzikálně na sebe vázat vodu při ponoření, které probíhá po stanovenou dobu. Obsah nabyté vlhkosti vláken je vyjadřován v procentech a dle [17] lze nasákavost stanovit jako:

$$N = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (19)$$

Kde:	$N$	nasákavost materiálu	[%]
	$m_0$	hmotnost materiálu před ponořením	[kg]
	$m_1$	hmotnost materiálu po ponoření	[kg]

*Vysýchavost* určuje schopnost materiálu odvádět vodu do okolí, jejímž důsledkem je vysychání vzorku, a tím zlepšení tepelně izolačních vlastností. Rychlost vysychání je ovlivněna charakterem použitých vláken, strukturou textilie a vlastnostmi jejího povrchu. [14]



## 5 PRACOVNÍ HYPOTÉZY A DEFINICE EXPERIMENTŮ

Tato kapitola definuje jednotlivé pracovní hypotézy a experimenty, pomocí nichž bude možné určit vliv vlhkosti materiálu na tepelný odpor rukavic. Prvním krokem je nalezení metody, kterou lze rukavice navlhčit. Poté je nezbytné zjistit, zdali je možné měřit vlhké rukavice na tepelném manekýnovi Newtonovi a existuje-li stabilní stav. Po nalezení metody vlhčení rukavic a otestování měřitelnosti vlhkých rukavic na tepelném manekýnovi lze následně vyhodnocovat vliv vlhkosti na tepelný odpor materiálu.

### 5.1 HYPOTÉZA 1 – VLBČENÍ RUKAVIC

Předmětem první hypotézy je předpoklad, že rukavice lze navlhčit s přesností  $\pm 5\%$  na stanovený obsah vlhkosti. Obsah nabyté vlhkosti je poté možné s dostatečnou přesností kontrolovat s využitím gravimetrické metody, a to následovně:

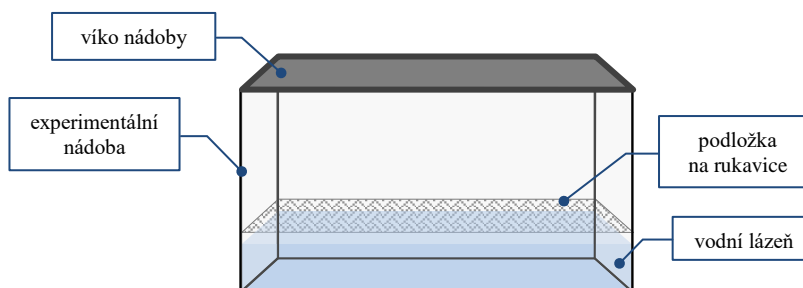
- před vlhčením bude zvážením určena váha suchého vzorku  $m_s$  [g]
- po vlhčení bude zvážením určena váha vlhkého vzorku  $m_v$  [g]
- následně bude vyhodnocen váhový rozdíl  $\Delta m = m_v - m_s$  [g]
- obsah nabyté vlhkosti bude vypočten s využitím vzorce (19), tj.  $N = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100$  [%]

Pro pracovní hypotézu 1 jsou potřebné různé míry navlhčení rukavic, a proto byly navrženy experimenty, které slouží k ověření jednotlivých metodik vlhčení a zjištění jejich přesnosti a opakovatelnosti. Cílem experimentů je získání ověřené metody pro nízké a vysoké navlhčení materiálů rukavic, aby bylo následně možné zkoumat vliv tohoto fenoménu na výsledný tepelný odpor rukavic. Základním předpokladem na počátku všech experimentů vlhčení je suchý stav všech vzorků.

Pro potvrzení/vyvrácení hypotézy byly navrženy následující experimenty vlhčení:

#### • VZDUŠNÉ VLBČENÍ

Prvním způsobem, kterým by bylo možné rukavice navlhčit, je využití vlhkosti obsažené ve vzduchu. Podstata experimentu bude spočívat v ponechání rukavic po stanovenou dobu v uzavíratelné nádobě, kde bude vytvořena vodní lázeň, která zajistí nasycení vzduchu téměř na 100% vlhkost. Po uplynutí stanovené doby vlhčení budou rukavice vyjmuty a zváženy, čímž bude možné porovnat jejich hmotnost s hmotností suchých vzorků a zjistit, zda došlo k absorpci vzdušné vlhkosti materiálem rukavic či nikoliv.



*Obr. 6 Schématické znázornění navlhčovací boxu – metoda Vzdušné vlhčení*

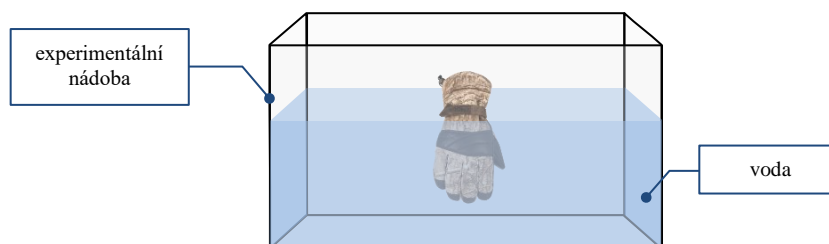
### • KONTAKTNÍ VHLČENÍ

Základním principem pro metodu Kontaktní vlhčení je obalení rukavic navlhčeným materiálem o definovaných rozměrech a vlhkosti. Vlhčící materiál by měl mít takové rozměry, aby jím bylo možné obalit celou rukavici. Navlhčení vlhčícího materiálu bude probíhat ponořením vzorku do vody a následným ručním vyždímáním. Jako referenční hodnota váhy navlhčovacího materiálu v navlhčeném stavu bude uvažována váha, která bude změřena po vyprání a následném odstředění vzorku v pračce.

Rukavice obalené navlhčovacím materiálem budou poté vloženy do uzavíratelné nádoby, stejné, jako v případě Vzdušného vlhčení. Rovněž bude v nádobě, opět za účelem vytvoření nasyceného vzduchu, vytvořena vodní lázeň. Tímto opatřením bude zajištěno, že vlhkost materiálu nebude přenášena do okolního prostředí nádoby, ale pouze do materiálu rukavic. Obalené rukavice budou v boxu ponechány po dobu 12 hodin a následně vytaženy a zváženy.

### • VHLČENÍ PONOŘENÍM

Rukavice nasazená na ruku bude ponořena do nádoby s vodou. Rukavice bude ponořena pouze po tu část, kde je všita voděodolná membrána, neboť hlavním cílem je navlhčení jen vnějších vrstev nad touto membránou. Po uplynutí stanovené doby ponoru bude ruka vytažena a rukavice následně ručně vyždímána. Poté bude následovat převážení vlhkých vzorků a vyhodnocení experimentu z hlediska nabyté vlhkosti. Při této metodě je předpokládána vyšší míra navlhčení materiálu rukavic než u metod Vzdušné a Kontaktní vlhčení.



*Obr. 7 Schématické znázornění postupu vlhčení rukavic – metoda Vlhčení ponořením*

### • VHLČENÍ V PRAČCE

Dalším způsobem, jak mohou rukavice nabýt vlhkosti, je vyprání rukavic v pračce v programu s následným odstředěním. U tohoto způsobu je předpokládána nejvyšší míra navlhčení rukavic, jelikož dojde ke kompletnímu navlhčení všech konstrukčních vrstev.

## 5.2 HYPOTÉZA 2 – MĚŘENÍ NA TEPELNÉM MANEKÝNOVI

Definice hypotézy 2: Měřením vlhkých rukavic na tepelném manekýnovi Newtonovi lze při zohlednění podmínek měřicího prostředí dle ČSN EN 511 a ČSN EN ISO 15831 dosáhnout rovnovážného stavu, který umožní změření tepelného odporu rukavic v daném stavu navlhčení.

Pro ověření hypotézy je zapotřebí použít kromě tepelného manekýna také další měřicí zařízení, která jsou popsána v následujícím textu včetně metodiky a popisu nastavení experimentu.

### 5.2.1 EXPERIMENTÁLNÍ VZORKY RUKAVIC

Experimentálními vzorky jsou lovecké rukavice Evelyn Touchscreen 8301-05 velikosti č. 9 dodané společností Holík International s.r.o. K dispozici budou tři páry těchto rukavic, čímž bude možné zajistit plynulost měření.

Hlavním izolačním materiálem rukavic je Primaloft®, který je speciálně vyvinutým materiálem pro oděvní sandwiche chránící proti chladu a rukavice jsou tak určeny zejména pro použití v zimním období. Hřbet vzorků je složen z polyesterové (dále jen PES) tkaniny, dlaň pak z usně koziny nappa s hydrofobní úpravou. Podšívka rukavic je konstruována z dvouvrstvého laminátu, který je složen z 95 % PES vláken Thermolite® a 5 % vláken X-Static®, která vykazují dobrou tepelnou vodivost a jsou antibakteriální. Významnou vrstvu tvoří vysoce prodyšná a voděodolná polyuretanová membrána Porelle®, jež zároveň plní funkci bariéry vůči bakteriím, krvi a chemickým látkám. Ochrana kloubů je provedena v podobě kožené výztuhy s neoprenovou výplní. Aby byla zaručena dobrá fixace rukavice na ruce, je zápěstí modelu staženo pruženkou a vybaveno stahovacím páskem. [18]



*Obr. 8 Testované vzorky rukavic Evelyn Touchscreen 8301-05 [18]*

### 5.2.2 NORMA ČSN EN 511

Předmětem této kapitoly je rešerše normy ČSN EN 511 – Ochranné rukavice proti chladu [19] a následující text plně vychází z textu normy a přebírá většinu textu doslovně ze zdroje [19].

Norma specifikuje požadavky a metody zkoušení pro rukavice, které slouží k ochraně proti chladu, jenž může být sdílen konvekcí (tzv. konvekční chlad) a vedením (tzv. kontaktní chlad), a to do teploty až -50 °C. Specifické hodnoty různých tříd provedení jsou rozlišeny speciálními požadavky pro každou třídu rizika nebo speciální oblast použití. Zkoušky výrobků udávají pouze třídu provedení, nikoliv stupeň ochrany proti chladu.

Rukavice zkoušené dle této normy musí splňovat všechny aplikovatelné požadavky normy ČSN EN 420.

V normě jsou dále specifikovány požadavky na mechanické vlastnosti, chování při ohybu, propustnost vody, dále na provedení zkoušky flexibility při extrémním chladu a zkoušení kontaktního a konvekčního chladu. V diplomové práci byly rukavice testovány pouze na konvekční chlad, a proto ostatní uvedené zkoušky nebudou dále rozebírány.

#### • METODA ZKOUŠENÍ KONVEKČNÍHO CHLADU

Principem zkoušky je určení tepelné izolace rukavice, která je stanovena měřením příkonu potřebného k udržení konstantního gradientu teplot mezi povrchem zahřívaného modelu ruky skutečné velikosti a okolním prostředím.

Návrh a konstrukce ruky musí zajišťovat stejnou konstantní teplotu na celém povrchu ruky. Přívod tepla do ruky musí zajistit stabilní proudění tepla modelem ruky, a to až do hodnoty 200 W/m<sup>2</sup>, aby udržel střední hodnotu teploty povrchu ruky v rozmezí od 30 °C do 35 °C. Maximální odchylka od regulované střední teploty modelu ruky nesmí překročit ± 1 °C.

Rukavice musí být před zkoušením uloženy nejméně 24 h ve zkušebním prostředí.

Zkušební zařízení sestává z modelu ruky, klimatizační komory a měřicího zařízení:

*Model ruky* je vyhříván tak, aby poskytoval rovnoměrnou teplotu povrchu obdobně jako lidská ruka. Jednou měřenou oblastí je ruka, která představuje prsty, dlaň a hřbet dohromady. Ruka je oddělená od předloktí ochrannou oblastí, která je vyhřívána stejně jako ruka.

Povrch materiálu ruky je pokryt vrstvou hustě navinutých odporových drátů, která je pokryta plastem o tloušťce přibližně 0,2 mm. Model ruky je vyhříván stejnosměrným zdrojem proudu o nízkém napětí.

*Klimatizační komora*, ve které je umístěn model ruky, musí zajistit stejnosměrné klimatické podmínky a prostorové a časové odchylky teplot musí být v toleranci  $\pm 1^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost v toleranci  $\pm 5\%$ .

#### • POSTUP ZKOUŠKY

Zkušební vzorek musí být velikosti 9. Model ruky s oblečenou testovanou rukavicí je umístěn vertikálně prsty dolů do zkušebního prostoru v klimatizační komoře.

Teplota okolí je nastavena tak, aby byla nejméně o  $20^\circ\text{C}$  nižší než teplota povrchu ruky. Rychlost proudění vzduchu je udržována v rozmezí hodnot  $4 \pm 0,5\text{ m/s}$  a relativní vlhkost vzduchu v rozmezí  $50 \pm 0,5\%$ .

Jakmile teplota ruky a příkon dosáhnou ustáleného stavu, jsou prováděna po dobu 10 min měření střední hodnoty. Výsledná tepelná izolace je poté vypočítána jako:

$$I_{TR} = \frac{T_{HAND} - T_A}{Q_{HAND}} \quad (20)$$

Kde:	$I_{TR}$	výsledná tepelná izolace	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
	$T_{HAND}$	střední teplota povrchu měřené oblasti ruky	$[\text{C}^\circ]$
	$T_A$	střední teplota vzduchu v klimatizační komoře	$[\text{C}^\circ]$
	$Q_{HAND}$	příkon dodávaný do měřené oblasti ruky	$[\text{W} \cdot \text{m}^2]$

Podle výše uvedeného postupu musí rukavice s tepelně izolačními vlastnostmi splňovat při zkoušení hodnoty uvedené v následující tabulce:

**Tab. 1** Hodnoty tepelné izolace

Třída provedení	Tepelná izolace $I_{TR}$
1	$0,10 \leq I_{TR} \leq 0,15$
2	$0,15 \leq I_{TR} \leq 0,22$
3	$0,22 \leq I_{TR} \leq 0,30$
4	$0,30 \leq I_{TR}$

### 5.2.3 NORMA ČSN EN ISO 15831

Předmětem této kapitoly je rešerše normy ČSN EN ISO 15831 Oděvy – Fyziologické účinky – Měření tepelné izolace pomocí tepelné figuríny [20] a následující text plně vychází z textu normy a přebírá většinu textu doslovně ze zdroje [20].

Norma popisuje požadavky na tepelnou figurínu a metodu zkoušení používanou pro měření tepelného odporu celého oděvu na uživateli při praktickém použití v relativně klidném prostředí, kdy uživatel buď stojí, nebo se pohybuje.

*Tepelná figurína* musí být konstruována tak, aby napodobovala tělo dospělého člověka, tj. musí být složena z anatomického modelu hlavy, hrudníku, břicha, zad, hýždí, paží, rukou (nejlépe s nataženými prsty, které dovolí nasazení rukavic), nohou a chodidel. Tělesná výška manekýna musí být  $1,7 \pm 0,15$  m s plochou povrchu těla  $1,7 \pm 0,3$  m<sup>2</sup>.

Manekýn musí být konstruován tak, aby každá jeho část byla vybavena topným systémem, jehož kapacita zabezpečí průměrnou konstantní povrchovou teplotu  $34 \pm 0,2$  °C na neoblečené figuríně v každé části těla.

Měřicí zařízení výkonu musí být schopné poskytovat přesnou průměrnou hodnotu po dobu zkoušení s přesností  $\pm 0,2$  % hodnoty průměrné dodávky energie ke každé části těla manekýna během zkušební doby.

Tepelný manekýn musí být umístěn v klimatizační komoře s regulací o rozměrech nejméně (2 x 2 x 2) m a proudění vzduchu v komoře může být jak horizontální, tak i vertikální.

Výsledné získané hodnoty izolačních vlastností zahrnují tepelnou izolaci poskytnutou oděvem a vzduchovou vrstvou mezi figurínou a oděvem.

#### 5.2.4 POPIS MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

V této kapitole je popsáno dostupné měřicí zařízení na OTTP FSI VUT v Brně, které bude použito pro měření tepelného odporu rukavic dle výše uvedených norem. Jedná se o klimatickou komoru, tepelného manekýna Newtona a multifunkční měřicí přístroj TESTO 435.

##### • KLIMATICKÁ KOMORA

Klimatická komora je zařízení, které slouží k simulaci daných klimatických podmínek závislých na typu testu. V klimatické komoře na FSI VUT je možné řídit teplotu a relativní vlhkost vzduchu a také simulovat sluneční záření. Naopak komora neumožňuje nastavení teploty stěn a umožňuje jen velmi omezeně regulaci rychlosti proudění vzduchu.

Klimatická komora je využívána k testování zařízení vystavených venkovnímu prostředí, tepelných čerpadel, fotovoltaických panelů a solárních kolektorů. Vzhledem k rozměrům komory (5 x 8,85 x 3,8) m lze testovat i rozměrnější objekty jako např. dopravní prostředky. Klimatická komora je také významně využívána pro testování tepelného komfortu v kombinaci s tepelným manekýnem. [21]

Základními technickými parametry klimatické komory jsou [21]:

- teplotní rozsah (se solární simulací): -10 °C až +50 °C
- teplotní rozsah (bez solární simulace): -40 °C až +85 °C
- rychlost teplotní změny (IEC 60068-35-5):  $\pm 1$  °C
- vlhkostní rozsah (se solární simulací): 30 % – 60 % RH
- vlhkostní rozsah (bez solární simulace): 30 % – 95 % RH
- stabilita udržování vlhkosti:  $\pm 5$  %
- rosný bod: 5 °C až 49 °C
- solární simulace 10 kW/ 1000 W/m<sup>2</sup>
- výměna vzduchu při vyvětrávání: 3000 m<sup>3</sup>/h
- výměna vzduchu při provozu: 300 m<sup>3</sup>/h
- vnitřní objem komory: 152 m<sup>3</sup>



*Obr. 9 Klimatická komora na FSI VUT v Brně*

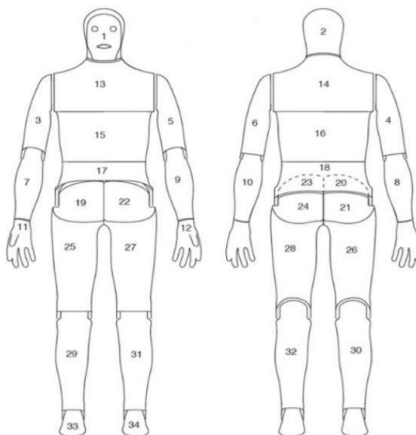
#### • TEPELNÝ MANEKÝN NEWTON

Nezbytným vybavením pro měření tepelného odporu rukavic je tepelný manekýn Newton, produkt společnosti Thermetrics, jehož součástí je také řídicí software ThermDAC8. Pomocí tohoto softwaru je možné nastavení požadovaných parametrů a zaznamenávání naměřených dat, která lze v reálném čase i v následném processingu graficky zobrazovat. Manekýn má tvar průměrné lidské postavy a pro lepší manipulaci je vybaven klouby, které zajišťují pohyblivost ramen, loktů, beder, kolen a chodidel. [22]

Základními technickými parametry tepelného manekýna jsou [22]:

- měření v rozsahu okolních teplot  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- přesnost měření teploty  $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 2x čidlo teploty vzduchu
- 1x čidlo relativní vlhkosti
- 1x čidlo pro měření rychlosti vzduchu
- dýchací mechanismus
- filtrační zařízení pro monitoring vdechovaných částic

Části lidského těla jsou na manekýnovi reprezentovány 34 nezávisle vyhřívanými a řízenými zónami. Každý ze segmentů simuluje produkci metabolického tepla a jeho odvod do okolního prostředí. Jednotlivé zóny manekýna jsou znázorněny na obr. 10:



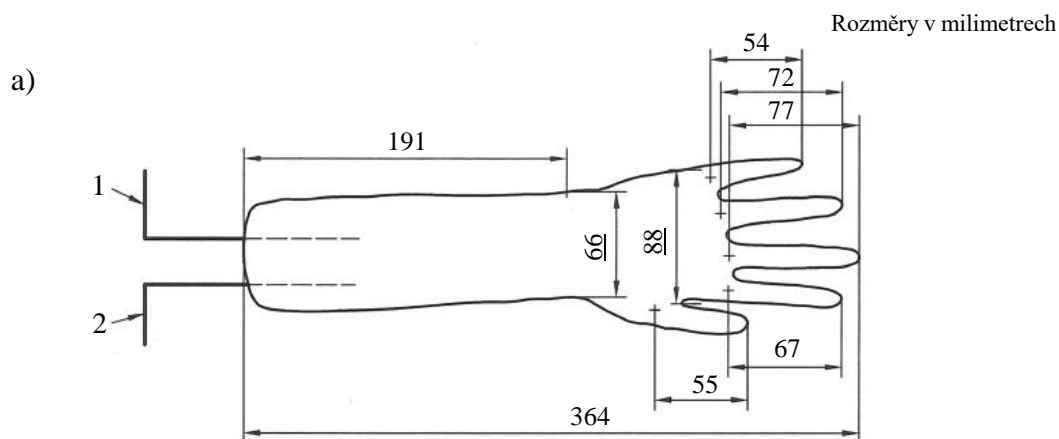
*Obr. 10 Segmenty tepelného manekýna Newtona [23]*

Měření tepelného odporu rukavic bude provedeno s využitím následujících segmentů:

**Tab. 2** Použité segmenty a jejich plocha

Číslo segmentu	Popis segmentu	Plocha segmentu [m <sup>2</sup> ]
7	pravé předloktí – přední část	0,0384
8	pravé předloktí – zadní část	0,0264
9	levé předloktí – přední část	0,0384
10	levé předloktí – zadní část	0,0264
11	pravá dlaň s prsty	0,0461
12	levá dlaň s prsty	0,0461

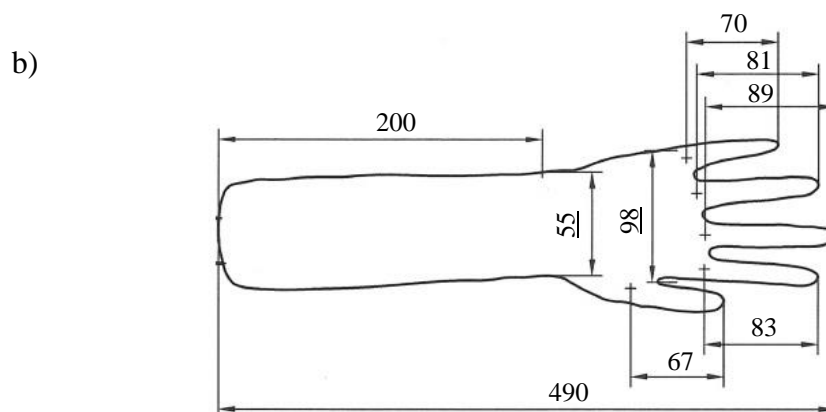
Jednotlivé segmenty uvedené v tab. 2 představují souhrnně dlaně a předloktí manekýna. Následně bude měřicí ruka detailněji popsána. Z hlediska rozměrů ruky nastává rozdíl mezi modelem uvedeným v normě ČSN EN 511 a skutečnými rozměry manekýnovy ruky, jak bylo zjištěno při řešení diplomové práce K. Pidrové. [24]



**Legenda**

- 1 kabely teplotních snímačů
- 2 kabely topných článků

POZN.: Model ruky je zobrazen úměrně zmenšený.



**Obr. 11** Model měřicí ruky dle a) ČSN EN 511 b) skutečných naměřených rozměrů [19], [24]

Z obr. 11 je patrné, že skutečné rozměry manekýnovy ruky jsou větší než rozměry, které uvádí norma ČSN EN 511. Dle normy ČSN EN 420 bylo změřením dokázáno, že rozměry ruky manekýna odpovídají velikosti č. 9, což je zároveň vyžadovaná velikost normou ČSN EN 511. Tento rozpor v hodnotách rozměrů je nejpravděpodobněji způsoben chybným uvedením obrázku v normě ČSN EN 511, jelikož ruka o rozměrech daných v této normě odpovídá spíše dle normy ČSN EN 420 velikosti č. 7 [24]. Tento rozpor nebyl dále řešen, neboť velikost ruky manekýna odpovídala velikosti č. 9 a stejnou velikost měly i testované vzorky.

#### • MULTIFUNKČNÍ MĚŘICÍ PŘÍSTROJ TESTO 435

Multifunkční měřicí přístroj Testo 435 slouží obecně pro měření okolního klimatu. S použitím příslušného vybavení lze analyzovat například kvalitu ovzduší, měřit teplotu a relativní vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu nebo koncentraci CO<sub>2</sub>. Základními technickými parametry měřicího přístroje jsou [25]:

- provozní teplota: -20 °C až +50 °C
- rozměry: 220 x 74 x 46 mm
- výdrž na jedno nabití: 200 hod
- třída krytí: IP54



*Obr. 12 Multifunkční přístroj TESTO 435-2 [25]*

#### • VENTILÁTORY

K přihlídnutí dostupného zařízení klimatické komory není možné regulovat rychlost proudění vzduchu, a tím dosáhnout hodnoty rychlosti 4 m/s, jak vyžaduje norma ČSN EN 511. Z tohoto důvodu budou do komory instalovány pomocné axiální ventilátory, které zajistí dosažení požadovaných podmínek.

#### 5.2.5 POSTUP PRO OVĚŘENÍ HYPOTÉZY

Pro ověření hypotézy 2 je potřebné nastavit měřicí systém tak, aby vyhovoval požadavkům normy ČSN EN 511 a ČSN EN ISO 15831. Primárně se jedná o dodržení podmínek měřicího prostředí klimatické komory, které jsou následující:

- teplota okolí bude o 20 °C nižší než teplota povrchu ruky
- rychlost proudění vzduchu bude udržována v rozmezí  $4 \pm 0,5$  m/s
- relativní vlhkost vzduchu bude udržována v rozmezí  $50 \pm 0,5$  %



Dalším stěžejním krokem bude nastavení tepelného manekýna. Dle normy [20] je vyžadována konstantní povrchová teplota měřených segmentů  $34 \pm 0,2$  °C. Tepelného manekýna je možné regulovat buď na konstantní teplotu, nebo na konstantní tepelný tok. Za účelem splnění požadavku na povrchovou teplotu bude tedy zvolen režim regulace na konstantní povrchovou teplotu 34 °C [23]. Nadále budou při měření využita čidla tepelného manekýna, a to jak pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu, tak i pro měření rychlosti proudění vzduchu.

Za účelem ověření a porovnání veličin naměřených tepelným manekýnem Newtonem, tj. teploty, relativní vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu bude použit multifunkční přístroj Testo 435-2. Aby bylo možné tyto veličiny zaznamenávat, bude k měřiči připojena termická sonda s integrovaným měřením sledovaných veličin. Základními technickými parametry termické sondy jsou [26]:

- měřicí rozsah teploty: -20 °C až + 70 °C (s přesností  $\pm 3$  °C)
- měřicí rozsah relativní vlhkosti: 0 % až 100 % (s přesností  $\pm 2$  %)
- měřicí rozsah rychlosti proudění: 0 m/s až 20 m/s (s přesností 0,03 m/s)



*Obr. 13 Termická sonda proudění s integrovaným měřením teploty a vlhkosti vzduchu [26]*

Požadavky jsou dále kladeny i na měřené vzorky rukavic. Ty musí být dle normy ČSN EN 511 velikosti č. 9 a měly by být uloženy v měřicím prostředí vždy 24 hodin před zahájením samotného měření.

### 5.3 HYPOTÉZA 3 – VLIV VLHKOSTI

Podstatou hypotézy 3 je předpoklad, že vlhkost materiálu rukavic má měřitelný vliv na výsledný tepelný odpor rukavice. U tohoto měření lze očekávat dynamický vývoj měřených veličin, a proto budou vyhodnocované výsledky prezentovány v závislosti na čase. Předběžný čas pro ustálení měřeného tepelného odporu byl na základě předešlých zkušeností odhadnut na 2 hodiny měření.

Výsledkem každého měření na tepelném manekýnovi budou hodnoty pro povrchovou teplotu ruky, okolní teplotu a tepelný tok z povrchu ruky. Pomocí těchto veličin bude dle vzorce (18) vypočten tepelný odpor každého vzorku rukavic.

### 5.4 ROZBOR NEJISTOT MĚŘENÍ

Měřené veličiny jsou zatíženy určitou nepřesností, která je způsobena různými vlivy, které se v průběhu měřicího procesu vyskytují. S výsledky měření pak bezprostředně souvisí nejistota měření, která charakterizuje rozsah hodnot, ve kterém se nachází se stanovenou spolehlivostí reálná hodnota měřené veličiny. Společně se zpracováním naměřených výsledků je tedy nezbytné provést i rozbor nejistot naměřených hodnot za účelem vyhodnocení spolehlivosti a opakovatelnosti měření.

Nejistota měření je složena z dílčích nejistot, k jejichž určení slouží principiálně dvě metody, a to [27]:

- **metoda typu A ( $u_{Ay}$ )** – metoda založena na statistickém zpracování opakovaně naměřených dat
- **metoda typu B ( $u_{By}$ )** – metoda reprezentující jiné než statistické zpracování naměřených údajů

#### • NEJISTOTA URČENÁ METODOU TYPU A

Nejistota typu A je zpravidla určena použitím rovnice (21). Je zřejmé, že výsledná hodnota nejistoty typu A závisí, kromě směrodatné odchylky aritmetického průměru dané veličiny, také na počtu opakování měření. V případě nízkého počtu opakování měření ( $n < 10$ ) je nutné zavést tzv. bezpečnostní faktor  $k_{uA}$ . V tab. 3 jsou uvedeny hodnoty bezpečnostního faktoru v závislosti na počtu opakování měření. [28]

Pro běžnou praxi lze uvést, že pokles bezpečnostního koeficientu je zásadní do 5tého opakování měření, poté až do 10tého opakování klesá jen pozvolna. Z praktického pohledu na věc je tedy možné zásadně snížit nejistotu měření, pokud je měření opakováno alespoň 4krát, poté je snižování nejistoty už jen velmi pozvolné a je nutné zvážit přínos snížení nejistoty měření vzhledem k časové a finanční náročnosti dalších opakování měření.

**Tab. 3** Hodnoty bezpečnostního faktoru v závislosti na počtu opakování měření [28]

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10 a více
$k_{uA}$	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

$$u_{Ay} = k_{uA} \cdot \frac{s_y}{\sqrt{n}} = k_{uA} \cdot \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (21)$$

Kde:  $u_{Ay}$  výsledná nejistota typu A veličiny  $y$   
 $k_{uA}$  bezpečnostní faktor  
 $s_y$  směrodatná odchylka z opakovaně naměřených hodnot  
 $n$  počet opakování měření  
 $y_i$  jednotlivé  $i$ -té naměřené hodnoty  
 $\bar{y}$  aritmetický průměr naměřených hodnot

#### • NEJISTOTA URČENÁ METODOU TYPU B

Určení nejistoty typu B je oproti stanovení nejistoty typu A obtížnější a vychází především z praxe a zkušeností. Standardní nejistota je odhadována na základě všech dostupných informací o měřené veličině a jejích možných změnách. Jako zdroj těchto informací mohou posloužit výsledky z předcházejících měření, zkušenosti s charakterem měřeného objektu, znalosti o měřicích metodách a prostředcích, informace o měřicím prostředí, údaje z certifikátů a kalibračních listů atd. [29]

Nejistoty typu B bývají zapříčiněny systematickými vlivy použitého měřicího řetězce, a proto jsou nazývané také jako systematické nejistoty. Pro nepřímou měřenou veličinu probíhá výpočet nejistoty pomocí následujících vztahů [30]:

$$u_{By} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bi}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot u(x_i)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \cdot u(x_i) \right)^2} \quad (22)$$

Kde:  $u_{By}$  výsledná nejistota typu B veličiny  $y$   
 $u_{Bi}$  nejistoty jednotlivých měřených veličin  
 $A_i$  koeficient citlivosti (převodový koeficient)  
 $u(x_i)$  nejistota měření proměnné veličiny  $x_i$   
 $n$  počet proměnných veličin obsažených ve funkci  $f$

Při zpracování naměřených výsledků bude posuzována nejistota měření celkového tepelného odporu rukavice  $R_{TOT}$ , který bude dosazen do vztahu (22) za funkci  $f$ . Dle rovnice (18) je zřejmé, že celkový tepelný odpor je funkcí tří proměnných veličin, a to povrchové teploty  $t_s$ , okolní teploty  $t_\infty$  a tepelného toku  $\dot{q}$ :

$$u_{By} = \sqrt{\left( \frac{\partial R_{TOT}}{\partial t_s} \cdot u_{t_s} \right)^2 + \left( \frac{\partial R_{TOT}}{\partial t_\infty} \cdot u_{t_\infty} \right)^2 + \left( \frac{\partial R_{TOT}}{\partial \dot{q}} \cdot u_{\dot{q}} \right)^2} \quad (23)$$

Dosazením rovnice (18) za  $R_{TOT}$  a následnou parciální derivací rovnice (22) bude získán výsledný vztah pro výpočet nejistoty typu B:

$$u_{By} = \sqrt{\left( \frac{1}{\dot{q}} \cdot u_{t_s} \right)^2 + \left( -\frac{1}{\dot{q}} \cdot u_{t_\infty} \right)^2 + \left( \frac{t_s - t_\infty}{\dot{q}^2} \cdot u_{\dot{q}} \right)^2} \quad (24)$$

Do vztahu (24) budou pro výpočet nejistoty  $u_{By}$  dosazeny hodnoty  $t_s$ ,  $t_\infty$  a  $\dot{q}$ , které budou vypočteny jako průměrné hodnoty v daném časovém intervalu.

Nejistoty měřených veličin  $u_{t_s}$ ,  $u_{t_\infty}$  a  $u_{\dot{q}}$  budou převzaty z článku [31], kde jsou známy hodnoty pro 95% spolehlivostní interval:

- nejistota měření teplot:  $u_{t_s} = u_{t_\infty} = \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
- nejistota měření tepelného toku:  $u_{\dot{q}} = \pm 1 \text{ \% z naměřené hodnoty}$

#### • KOMBINOVANÁ NEJISTOTA

Obvykle je v praxi potřeba vyjádřit jedním společným číslem nejistoty typu A ( $u_{Ay}$ ) a nejistoty typu B ( $u_{By}$ ). Za tímto účelem je používána kombinovaná nejistota ( $u_{Cy}$ ), která je výslednou nejistotou daného měření. Celková nejistota měření je určena pomocí následujícího vzorce:

$$u_{Cy} = \sqrt{u_{Ay}^2 + u_{By}^2} \quad (25)$$

Výsledná kombinovaná nejistota definovaná rovnicí (25) je označována jako standardní nejistota, která představuje interval určený s pravděpodobností cca 68 % za předpokladu

normálního rozdělení měřených veličin. V situaci, kdy je žádoucí zvýšit procentuální pravděpodobnost pokrytí měřené veličiny, je potřebné rozšířit standardní nejistotu tzv. koeficientem rozšíření  $k_r$ . Intervaly pokrytí lze rozšířit na 95% pravděpodobnost ( $k_r = 2$ ) nebo na 99,7% pravděpodobnost ( $k_r = 3$ ). Rozšířená nejistota je poté dána vztahem [27]:

$$U = k_r \cdot u_{cy} \quad (26)$$

V této diplomové práci bude při výpočtu nejistot měření uvažováno s pravděpodobností pokrytí měřených veličin 95 %.

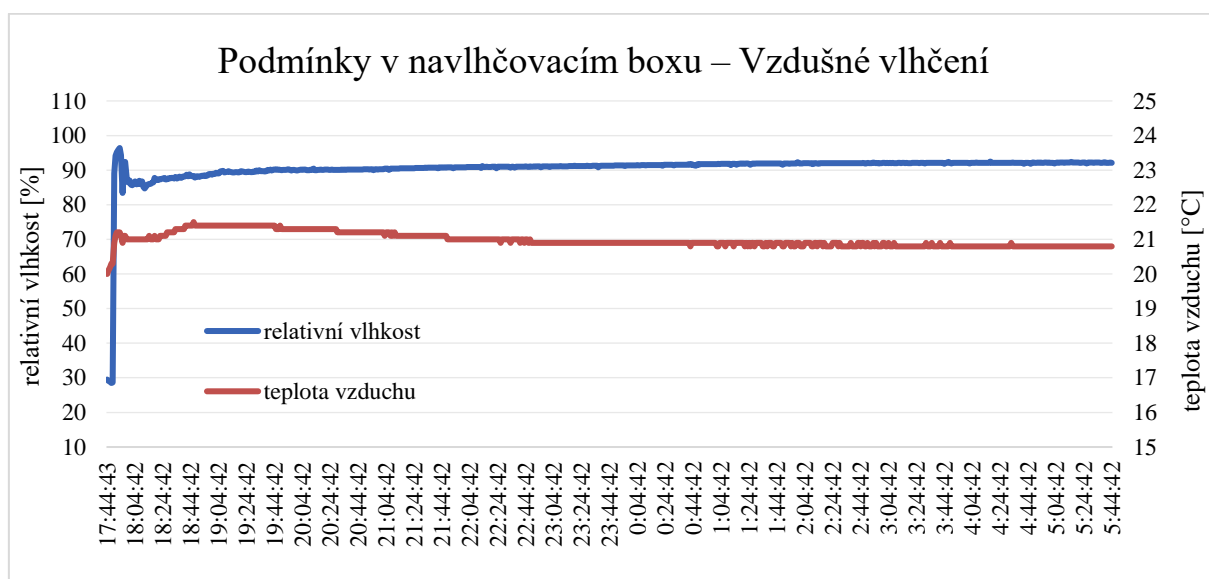
## 6 POSTUP MĚŘENÍ, ZPRACOVÁNÍ DAT A ZÍSKANÉ VÝSLEDKY

V této kapitole jsou uvedeny postupy jednotlivých experimentů vlhčení a poté samotných měření na tepelném manekýnovi. Součástí kapitoly je shrnutí a zpracování získaných výsledků.

### 6.1 Vlhčení rukavic

#### 6.1.1 VZDUŠNÉ VlhČENÍ

Pro ověření způsobu vlhčení rukavic vzdušnou vlhkostí byl použit plastový box s těsným uzavíratelným víkem. Nádoba na dně uzavřeného boxu s volnou vodní hladinou zajistila nasycení vzduchu na cca 90 %, jak lze pozorovat na obr. 14. V průběhu vlhčení byla v boxu umístěna měřicí sonda, která monitorovala kromě relativní vlhkosti i teplotu vzduchu.



**Obr. 14** Podmínky v navlhčovacím boxu – metoda Vzdušné vlhčení

Navlhčovací box s vloženými vzorky rukavic je zobrazen na obr. 15. Lze si povšimnout, že přebytečná vlhkost ze vzduchu v boxu kondenzuje na jeho stěnách.



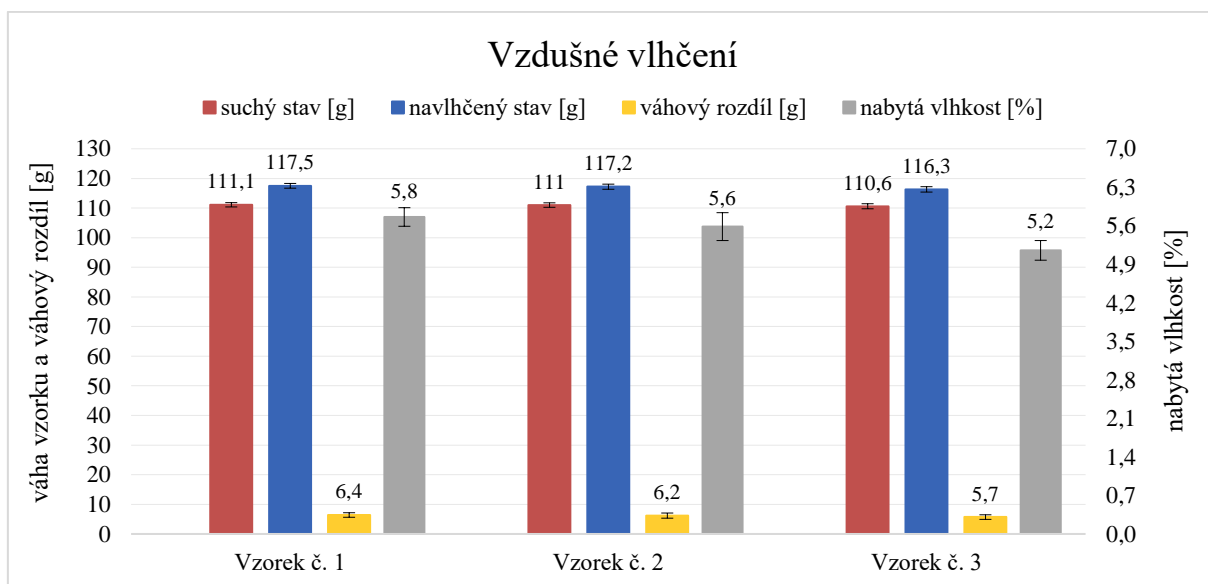
**Obr. 15** Vzdušné vlhčení v navlhčovacím boxu

**POSTUP PŘI EXPERIMENTU:**

- 1) Vysušení rukavic na teplovzdušném topení Sahara pod dobu 24 h.
- 2) Zvážení vysušených vzorků.
- 3) V boxu o rozměrech (40 x 30 x 40) cm byla nalitím vody do spodní nádoby vytvořena vodní lázeň.
- 4) Do boxu byly vloženy vysušené vzorky rukavic.
- 5) V boxu byla po dobu měření umístěna sonda za účelem sledování stavu vlhkosti a teploty uvnitř boxu.
- 6) Rukavice byly ponechány v boxu s vodní lázní po dobu 12 hodin.
- 7) Po uplynutí doby byly rukavice z boxu vyjmuty a zváženy.
- 8) Vyhodnocení rozdílu váhy suchého a navlhčeného stavu rukavic a obsahu nabyté vlhkosti jednotlivými vzorky rukavic.
- 9) Experiment byl proveden celkem 3x. Získané výsledky jsou zobrazeny na obr. 16.

**ZÍSKANÁ DATA:**

Výsledné hodnoty váhy suchého ( $m_s$ ) a navlhčeného ( $m_v$ ) stavu na obr. 16 byly získány jako průměr změřených hodnot váhy pravé a levé rukavice každého vzorku, a to ze všech tří měření. Následně byl vypočten dle postupu uvedeného v kapitole 5.1 váhový rozdíl ( $\Delta m$ ) a nabytá vlhkost ( $N$ ).



**Obr. 16** Míra navlhčení rukavic – metoda Vzdušné vlhčení

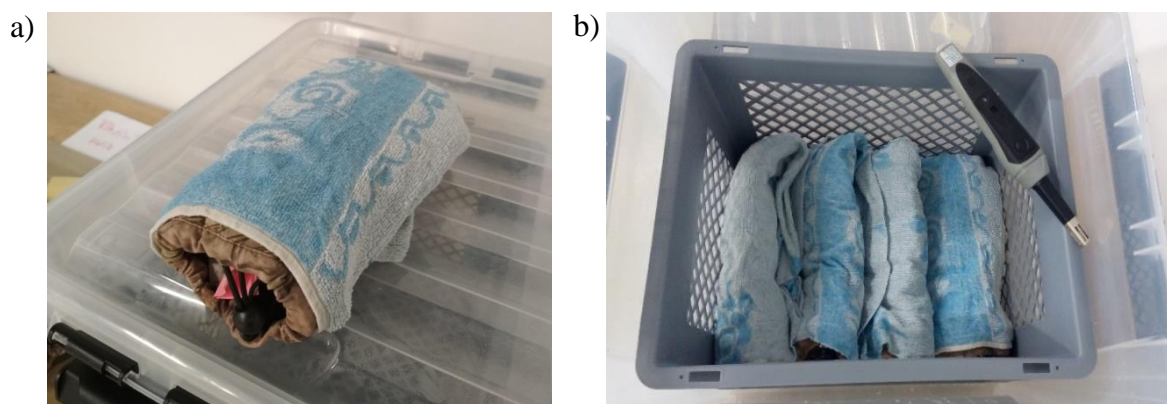
**VÝSLEDEK EXPERIMENTU:**

Dle obr. 16 je zřejmé, že hodnoty váhy vzorků rukavic ve vlhkém stavu byly naměřeny s minimálními rozdíly a lze konstatovat, že všechny rukavice pojalý přibližně stejnou míru vlhkosti. Rukavice je touto metodou navlhčování možné navlhčit na cca  $6 \pm 3,57$  %.

**6.1.2 KONTAKTNÍ VLNČENÍ**

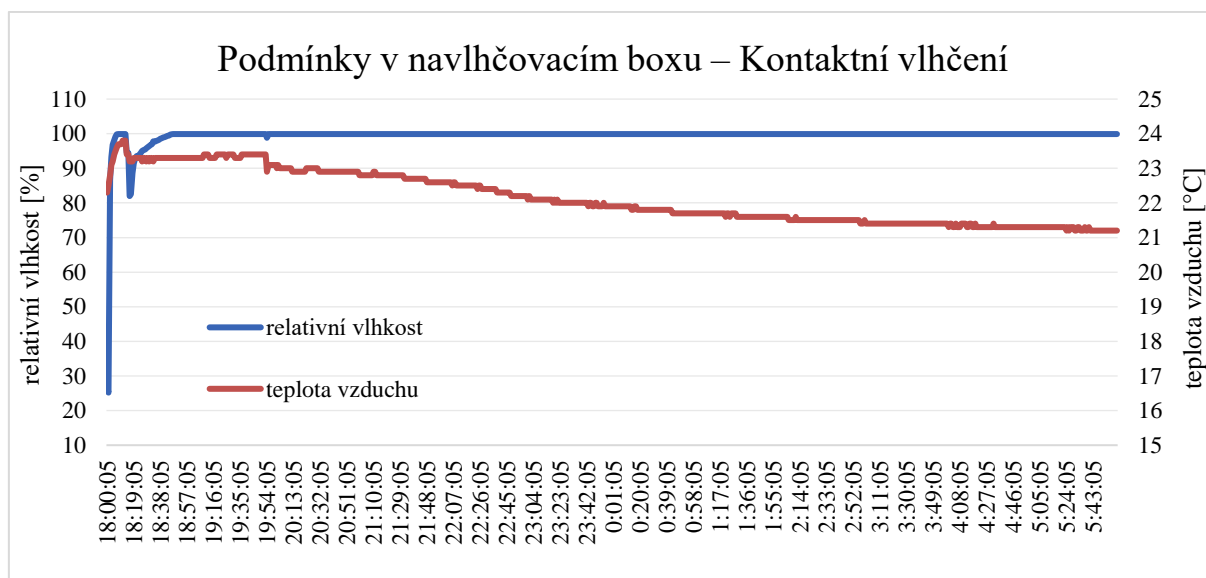
K otestování metody Kontaktní vlhčení byl jako navlhčovací materiál vybrán froté ručník. Rukavice byly obaleny vlhkým materiálem a následně vloženy do testovacího boxu, kde byla,

stejně jako v případě vzdušného vlhčení, umístěna nádoba s volnou vodní hladinou, která vytvořila téměř 100% nasycení vzduchu v boxu.



**Obr. 17** Metoda Kontaktní vlhčení rukavic navlhčeným materiálem  
 a) rukavice obalená navlhčovacím materiálem  
 b) uložení rukavic v testovacím boxu

Za účelem sledování stavu relativní vlhkosti a teploty vzduchu byla po celou dobu vlhčení umístěna uvnitř boxu měřicí sonda. Stav sledovaných veličin v průběhu měření lze pozorovat na obr. 18.



**Obr. 18** Podmínky v navlhčovacím boxu – metoda Kontaktní vlhčení

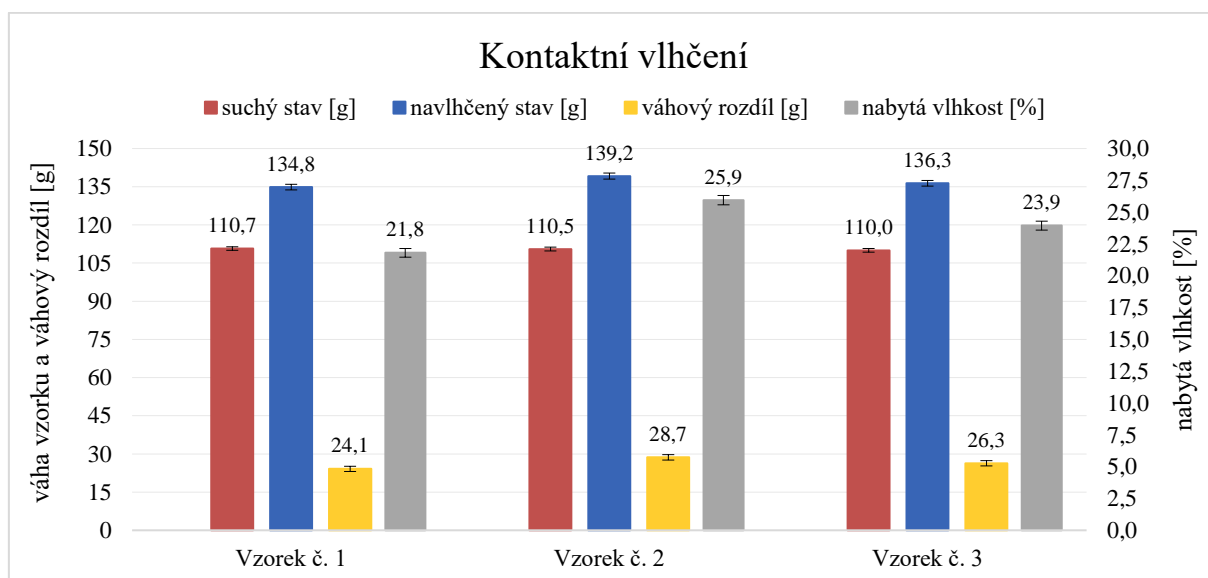
#### POSTUP PŘI EXPERIMENTU:

- 1) Vysušení rukavic na topení po dobu 24 h a zároveň příprava navlhčovacího materiálu o rozměrech (40 x 40) cm a jeho vysušení na topení po dobu 24 h.
- 2) V boxu byla nalitím vody vytvořena vodní lázeň za účelem dosažení nasyceného vzduchu uvnitř boxu. Vlhkost materiálu se tak nepřenášela do okolního prostředí v boxu, nýbrž do materiálu rukavic.

- 3) Zvážení vzorků rukavic po vysušení. Z opakovatelnosti vážení lze zajistit stejnou hodnotu váhy jednotlivých rukavic s rozdílem max.  $\pm 1$  g.
- 4) Zvážení vzorků vlhčicího materiálu po vysušení. Z opakovatelnosti vážení lze zajistit stejnou hodnotu váhy materiálu s rozdílem max.  $\pm 1$  g.
- 5) Navlhčení vlhčicího materiálu probíhalo ponořením do vody a následně byl materiál ručně vyždímán. Jako referenční váha vlhčicího materiálu v mokrému stavu byla uvažována váha, které bylo dosaženo vypráním a následným odstředěním vzorku vlhčicího materiálu v pračce.
- 6) Obalení suchých rukavic zvnějšku vlhčícím materiálem.
- 7) Vložení obalených rukavic do boxu na dobu 12 h.
- 8) Po uplynutí doby vyjmutí rukavic z boxu a převážení vzorků rukavic a vlhčicího materiálu.
- 9) Vyhodnocení rozdílu váhy suchého a navlhčeného stavu rukavic a obsahu nabyté vlhkosti jednotlivými vzorky rukavic.
- 10) Experiment byl proveden celkem 3x. Získané výsledky jsou zobrazeny na obr. 19.

#### ZÍSKANÁ DATA:

Hodnoty suchého a navlhčeného stavu každého vzorku, uvedené níže na obr. 19, byly opět získány jako průměr váhy pravé a levé rukavice, a to ze všech tří měření.



*Obr. 19 Míra navlhčení rukavic – metoda Kontaktní vlhčení*

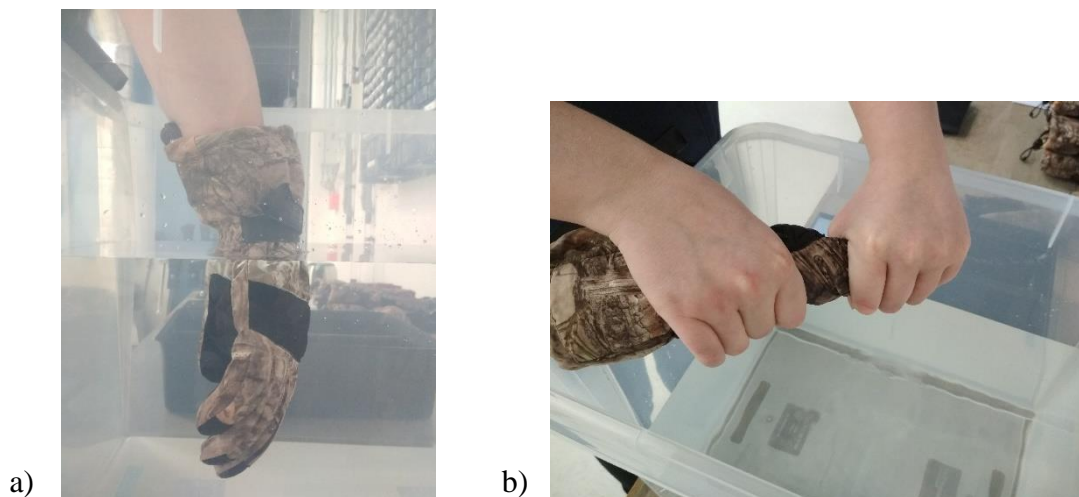
#### VÝSLEDEK EXPERIMENTU:

Dle obr. 19 je zřejmé, že hodnoty váhy vzorků rukavic ve vlhkém stavu byly naměřeny s minimálními rozdíly a lze konstatovat, že všechny rukavice pojal přibližně stejné množství vlhkosti. Rukavice jsou touto metodou vlhčení schopny pojmout cca  $22 \pm 1,93$  % vlhkosti.



### 6.1.3 VLNĚNÍ PONOŘENÍM

Aby bylo možné zjistit, do jaké míry je možné navlhčit pouze tu část rukavic, v níž je všita voděodolná membrána, byl proveden experiment, kdy byly vzorky rukavic ponořeny na určený čas do vody a následně ručně vyždímány.



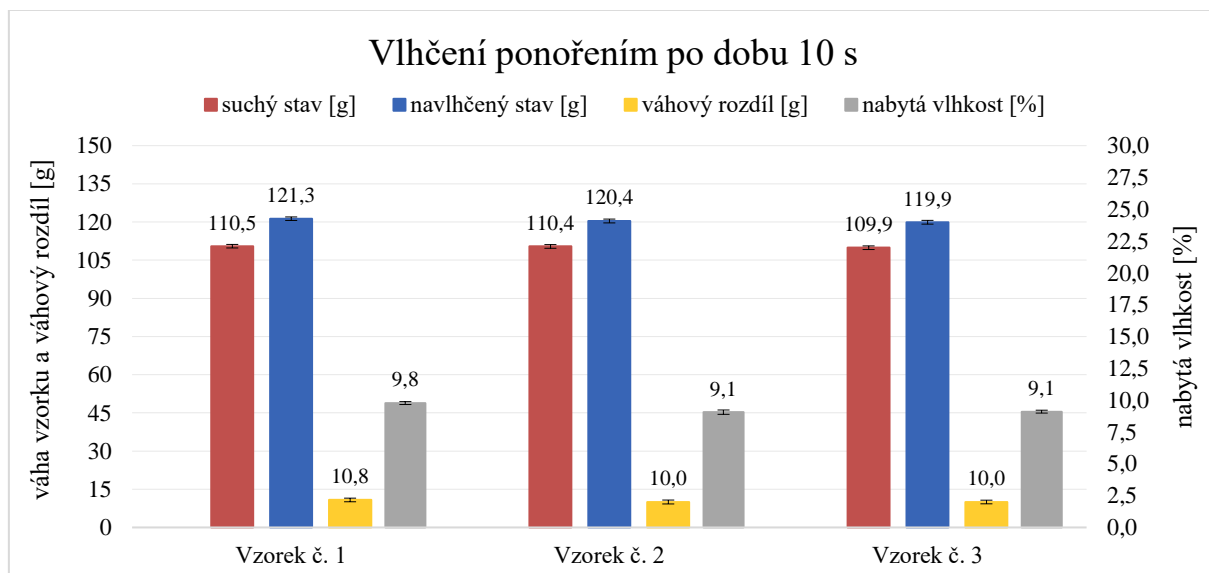
*Obr. 20 Metoda Vlhčení ponořením a) ponoření rukavice do vody b) ruční vyždímání rukavice*

#### POSTUP PŘI EXPERIMENTU:

- 1) Vysušení rukavic na topení po dobu 24 h.
- 2) Zvážení vzorků rukavic po vysušení. Z opakovatelnosti vážení lze zajistit stejnou hodnotu váhy jednotlivých rukavic s rozdílem max.  $\pm 1$  g.
- 3) Nasazení rukavice na ruku a následné ponoření ruky s nasazenou rukavicí do vody, a to na dobu 10 s (a poté 30 s, viz text níže). Nutno podotknout, že rukavice byla ponořena pouze po tu část, kde končí všitá voděodolná membrána (oblast zápěstí viz. obr. 20a)
- 4) Ruka byla po uplynutí 10 s vytažena z vody a rukavice byla následně vyždímána a zvážena.
- 5) Z opakovatelnosti vlhčení a následného vyždímání a vážení lze zajistit stejnou hodnotu váhy vlhkého vzorku rukavic s rozdílem max.  $\pm 1$  g.
- 6) Vyhodnocení rozdílu váhy suchého a navlhčeného stavu rukavic a procentuálního úbytku váhy vzorků rukavic.
- 7) Stejný postup byl proveden pro další vzorky rukavic. Měření bylo u každého vzorku provedeno 3 x.

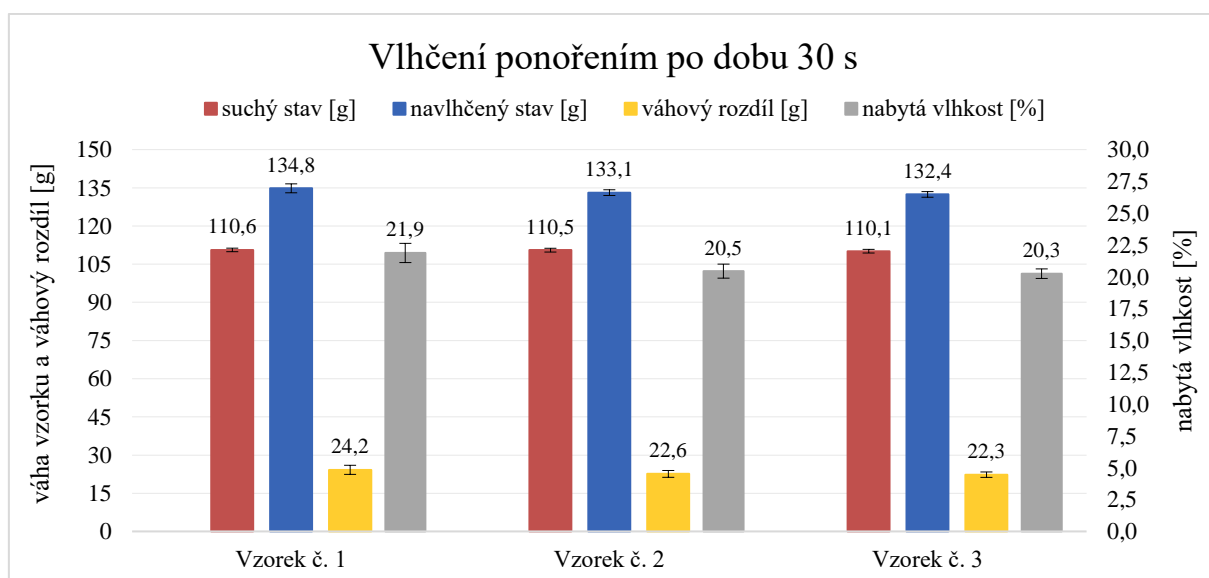
**ZÍSKANÁ DATA:**

Váha jednotlivých vzorků uvedených níže v grafech je průměrná hodnota ze všech tří provedených měření, kdy z každého měření byl vypočten průměr hodnot váhy pravé a levé rukavice každého vzorku.



**Obr. 21** Míra navlhčení rukavic – metoda Vlhčení ponořením po dobu 10 s

Jak lze vyčíst z obr. 21, rukavice byly schopny pojmout cca 9 % vlhkosti. Dle kapitoly 4.4 je textilie schopna absorbovat a fyzikálně na sebe vázat vodu při ponoření po stanovenou dobu. Pro ověření, zda má délka ponoru vliv na obsah nabyté vlhkosti byl proveden druhý pokus, kdy byla zvolena delší doba ponoření, a to 30 s.



**Obr. 22** Míra navlhčení rukavic – metoda Vlhčení ponořením po dobu 30 s

Z obr. 22 je zřejmé, že hodnota nabyté vlhkosti je při ponoření rukavic na 30 s dvojnásobná oproti ponoření rukavic na 10 s, což vede na hodnotu cca 20 %.

**VÝSLEDEK EXPERIMENTU:**

Délka ponoření má vliv na výslednou hodnotu navlhčení rukavic. Při ponoření na 10 s činí obsah nabyté vlhkosti cca  $9 \pm 1,65$  %. Při ponoření rukavic na 30 s je obsah nabyté vlhkosti roven cca  $20 \pm 2,28$  %, což je téměř shodné s metodou Kontaktního vlhčení. Jelikož je metoda Vlhčení ponořením oproti Kontaktnímu vlhčení časově méně náročná a dochází k ponoření pouze membránou opatřených vrstev, bude pro vysoké navlhčení materiálů rukavic použita tato metoda.

**6.1.4 VLVHČENÍ V PRAČCE**

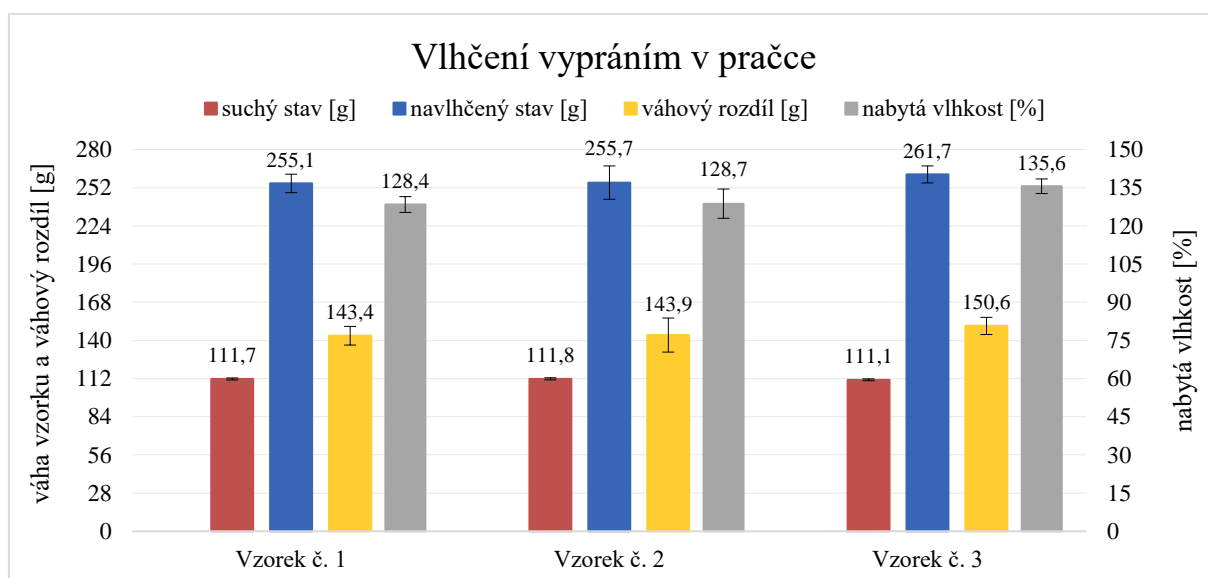
Za účelem navlhčení rukavic na vyšší hodnotu byl proveden další experiment, jenž se týkal vyprání rukavic v pračce s následným odstředěním.

**POSTUP PŘI EXPERIMENTU:**

- 1) Vysušení rukavic na topení po dobu 24 h.
- 2) Zvážení vzorků rukavic po vysušení. Z opakovatelnosti vážení lze zajistit stejnou hodnotu váhy jednotlivých vzorků rukavic s rozdílem max.  $\pm 1$  g.
- 3) Vysušené rukavice vloženy do pračky a vyprány v režimu praní na 30 min s odstředěním při otáčkách 800 rpm.
- 4) Po skončení praní rukavice vyjmuty z pračky a zváženy.

**ZÍSKANÁ DATA:**

Hodnoty suchého a navlhčeného stavu každého vzorku, uvedené níže na obr. 23, byly získány jako průměr váhy pravé a levé rukavice.



**Obr. 23** Míra navlhčení rukavic – metoda Vlhčení v pračce

Z výše uvedeného grafu je zřejmé, že metodou vyprání rukavic v pračce lze dosáhnout nejvyšší hodnoty navlhčení v porovnání s předešlými metodami.

**VÝSLEDEK EXPERIMENTU:**

Vypráním rukavic v pračce a následným odstředěním lze dosáhnout nejvyšší hodnoty nabyté vlhkosti, a to cca  $130 \pm 3,89 \%$ . Aplikací této metody dochází k navlhčení všech konstrukčních vrstev rukavice, a tím k výraznému přírůstku nabyté vlhkosti. Tato situace je však při běžném používání rukavic málo pravděpodobná. Po konzultaci s firmou Holík International s.r.o. bylo dohodnuto, že budou zvoleny jen ty způsoby vlhčení, při kterých dochází k navlhčení pouze vnějších konstrukčních vrstev rukavice, které jsou umístěny nad voděodolnou membránou.

**6.2 NASTAVENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO VYBAVENÍ**

Za účelem ověření hypotézy 2 byl realizován následující postup vycházející z norem [19] a [20], pomocí kterého bylo možné zjistit tepelný odpor rukavic v suchém a navlhčeném stavu a posoudit, jak se tyto tepelné odpory jednotlivých vzorků liší.

**6.2.1 KONDICIOVÁNÍ VZORKŮ RUKAVIC**

Před samotným vlhčením bylo nezbytné, aby byly experimentální vzorky rukavic v dokonale suchém stavu, který byl ověřen opakovaným vysušením a zvážením rukavic. Při měření tepelného odporu suchých rukavic byl postup dle normy ČSN EN 511 dodržen, avšak u měření vlhkých rukavic bylo nutné vždy rukavice před samotným vlhčením vysušit, a proto nemohl být požadavek na uložení vzorků 24 h před měřením ve stejném prostředí dodržen, zejména z důvodů klimatických podmínek v klimatické komoře.

**6.2.2 NASTAVENÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU**

Měřicí systém, pod který spadá tepelný manekýn Newton, klimatická komora a měřicí zařízení, byl nastaven tak, aby byly dodrženy podmínky norem [19] a [20]. S takto nastaveným systémem, popsaným níže, bylo možné měřit tepelný odpor rukavic.

**• TEPELNÝ MANEKÝN NEWTON**

Tepelný manekýn byl uveden do provozu vždy 2 hodiny před začátkem každého měření. Pro měření tepelného odporu rukavic byly využity segmenty č. 7–12 (viz tab. 2), jejichž teplota byla dle pokynů [20] nastavena na požadovanou teplotu  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na základě předešlých zkušeností [32] a vzhledem k nastaveným okolním podmínkám v klimatické komoře (viz níže), byly na předloktí manekýna nasazeny rukávce z pokovené fólie, aby byl tepelný manekýn schopen udržet požadovanou povrchovou teplotu  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  na předloktích a zabránilo se tak podélnému tepelnému toku ve směru dlaň-předloktí. V průběhu nahřívání byly rovněž i ruce manekýna chráněny proti vysokým tepelným ztrátám nasazenými rukavicemi Elsa, také od firmy Holík International s.r.o., viz obr. 24.



***Obr. 24** Předloktí obalená pokovenou fólií za účelem snížení nadměrných tepelných ztrát a eliminace podélného tepelného toku ve směru dlaň-předloktí (foto z nahřívací fáze s nasazenými rukavicemi typu Elsa pro urychlení prohřátí dlaní).*

- **KLIMATICKÁ KOMORA**

Klimatická komora byla uvedena do provozu vždy současně s tepelným manekýnem. Teplota vzduchu byla nastavena na 12 °C, relativní vlhkost byla v průběhu měření udržována na hodnotě 50 %. Takto nastavenými hodnotami byly splněny podmínky norem uvedené v kapitole 5.2.5. Rychlosti proudění vzduchu 4 m/s, jak požaduje [19], nebylo možné pomocí dostupného zařízení klimatické komory dosáhnout. Z tohoto důvodu byly do komory umístěny dva pomocné axiální ventilátory, které zajistily požadovanou rychlost proudění vzduchu.



***Obr. 25** Umístění axiálních ventilátorů pro dosažení požadované rychlosti 4m/s*

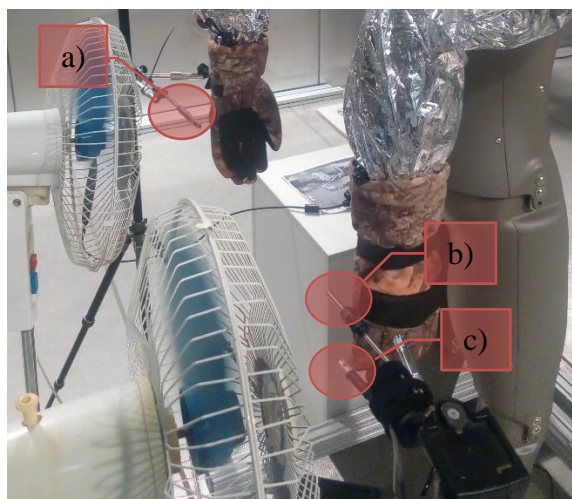
- **ROZMÍSTĚNÍ A NASTAVENÍ MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ**

Tepelný manekýn byl umístěn do středu klimatické komory, ve stojící poloze. Paže manekýna byly ohnuty dozadu, s lokty nastavenými do vertikální polohy tak, aby prsty směřovaly směrem dolů, jak vyžaduje norma [19]. Tímto bylo umožněno volné proudění vzduchu kolem rukou.



**Obr. 26** Pohled na tepelného manekýna z profilu

Za manekýnem byly následně umístěny již zmíněné axiální ventilátory, které zajistily požadovanou rychlost proudění vzduchu 4 m/s. Vně obou rukou byla rozmístěna měřicí čidla. U levé ruky byla umístěna kombinovaná sonda s integrovaným měřením rychlosti, teploty a vlhkosti vzduchu, která byla připojena k multifunkčnímu měřiči Testo 435. U pravé ruky byl rozmístěn anemometr a dále čidla tepelného manekýna pro měření teploty a vlhkosti vzduchu, viz obr. 27.



**Obr. 27** Rozmístění měřicích čidel

a) kombinovaná sonda připojena k multifunkčnímu měřiči Testo 435

b) anemometr manekýna

c) čidla manekýna pro měření teploty a vlhkosti vzduchu

### 6.3 MĚŘENÍ TEPELNÉHO ODPORU SUCHÝCH RUKAVIC

Při dodržení výše uvedené metodiky bylo provedeno měření tepelného odporu suchých rukavic. Měření probíhalo dne 28. 1. 2019, od 10:00 do 16:00. Tepelný manekýn byl spuštěn v 8:00, stejně jako klimatická komora, a následovalo nahřívání manekýna a stabilizace podmínek v komoře po dobu 2 hodin. V 10:00 byl manekýnovi nasazen první pár rukavic a po dobu

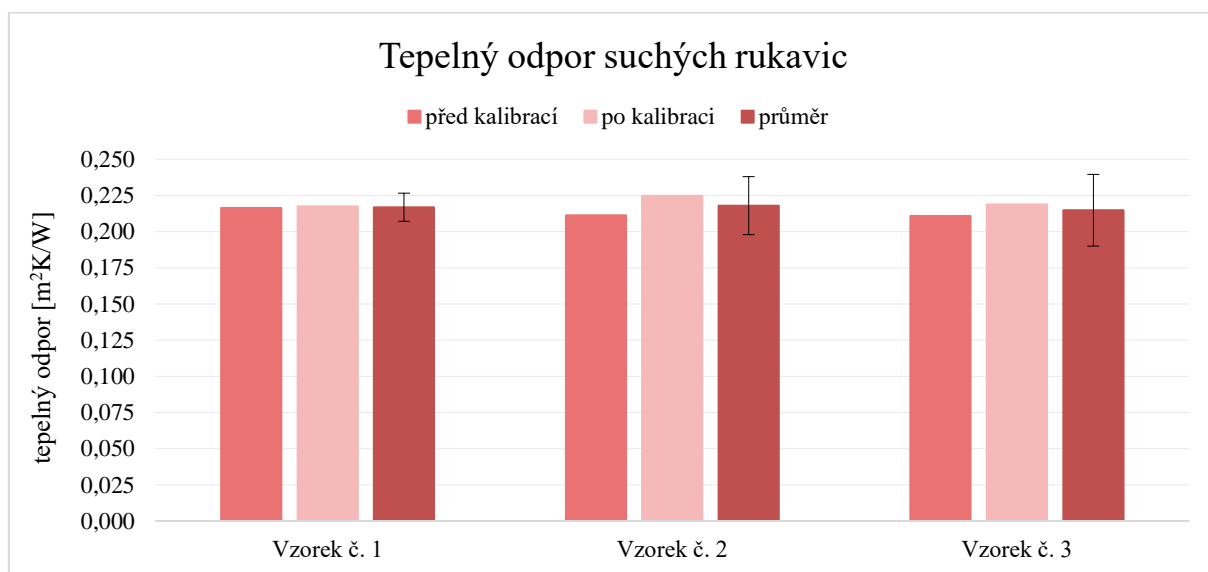


2 hodin probíhalo měření, jež bylo zaznamenáváno s periodou 20 s. Po uplynutí stanovené doby byly rukavice vyměněny a následovalo proměření zbývajících vzorků ve stejných dvouhodinových intervalech se stejnou periodou záznamu dat.

V měsíci březnu proběhla kalibrace tepelného manekýna, kdy bylo zjištěno, že pravá ruka manekýna byla vyhřívána na vyšší teplotu, než jaká byla nastavena, a tím byl generován vyšší tepelný tok. Před kalibrací byly již naměřeny vlhké rukavice vlhčené způsobem ponoření. Další měření vlhkých rukavic, vlhčených metodou vzdušného vlhčení, mělo probíhat v měsíci dubnu. Vzhledem k proběhlé kalibraci bylo, za účelem ověření správnosti měření, nutné zopakovat měření tepelného odporu suchých rukavic, které proběhlo 9. 4. 2019. Při měření bylo postupováno stejným způsobem jako při prvním měření.

Výsledkem měření jednoho páru rukavic bylo získáno asi 360 hodnot pro každou sledovanou veličinu, kterými byly teplota povrchu ruky, okolní teplota a tepelný tok z povrchu ruky. Naměřené hodnoty byly následně zpracovány v programu MS Excel, kdy byla spočtena průměrná hodnota každé veličiny. Ze získaných údajů byl vypočten dle rovnice (18) tepelný odpor pravé a levé rukavice každého vzorku. Hodnoty tepelných odporů párových částí byly poté sloučeny do jedné průměrné hodnoty.

Měření tepelných odporů suchých rukavic bylo provedeno ve dvou nezávislých dnech a mezi měřeními byl manekýn se vším měřicím zařízením vyneseno a znovu nainstalován do klimatické komory. Z těchto měření je vhodné vyhodnotit nejen přesnost měření tepelného odporu, ale i opakovatelnost měřicího postupu. V následujícím grafu (viz obr. 28) jsou prezentovány výsledné tepelné odpory suchých rukavic, které byly naměřeny před a po kalibraci. Třetí sloupec je průměrem obou měření.



**Obr. 28** Tepelný odpor suchých rukavic – průměr obou měření před a po kalibraci se zobrazením chybových úseček rozšířených nejistot typu C

## 6.4 MĚŘENÍ TEPELNÉHO ODPORU VLHKÝCH RUKAVIC

Tepelný odpor vlhkých rukavic byl testován pro dvě metody navlhčování. Pro vysokou míru navlhčení byl zvolen způsob vlhčení ponořením rukavic na 30 s. Pro nabytí nižšího obsahu vlhkosti byla využita metoda Vzdušné vlhčení rukavic. Metodika měření a zpracování dat je totožná jako v případě testování suchých vzorků rukavic.

Měření rukavic vlhčených metodou ponoření probíhalo ve dnech 29.–31. 1. 2019, kdy byly během jednoho dne proměřeny všechny tři vzorky. Doba měření jednoho vzorku činila 2 hodiny

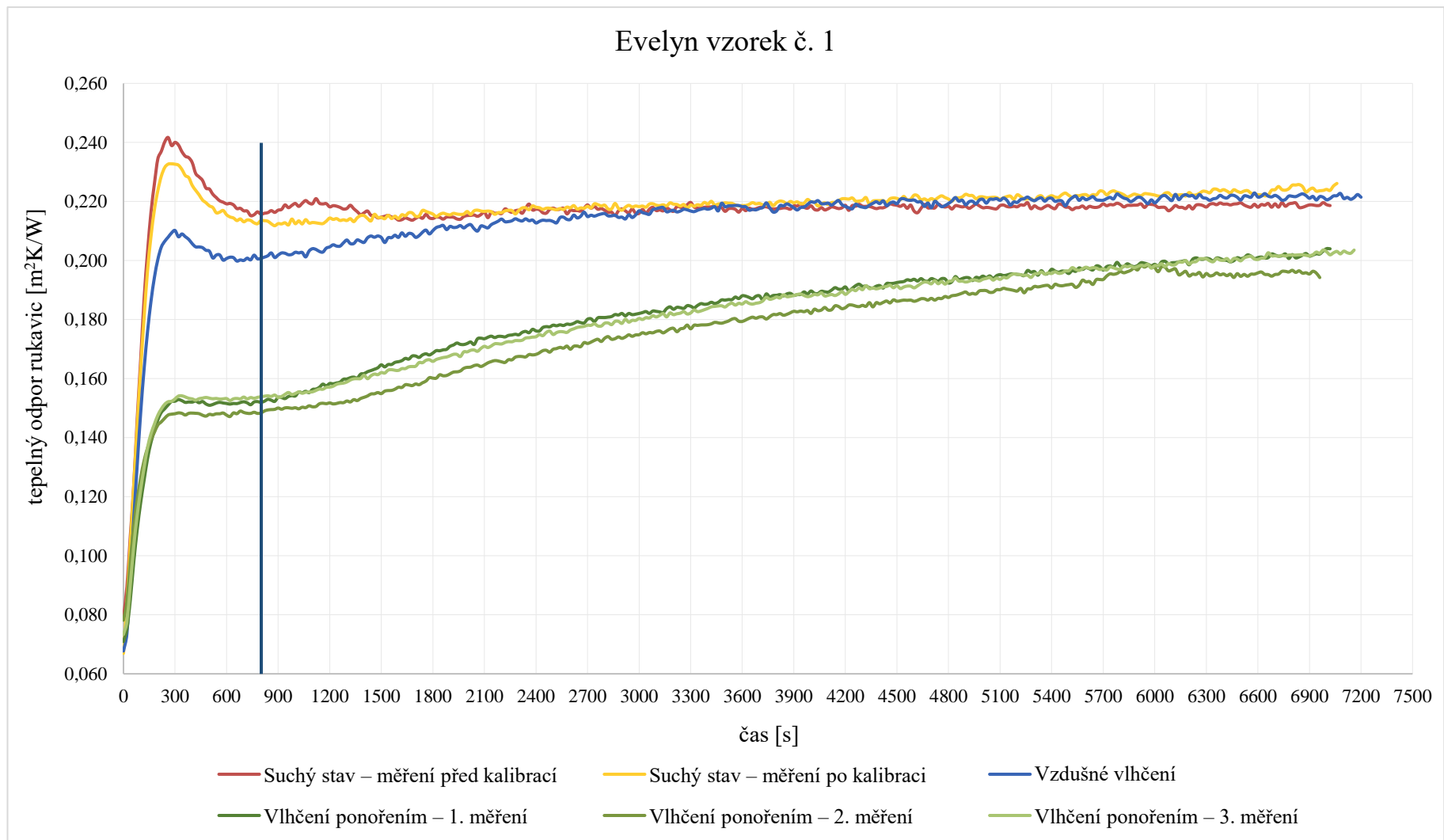
a perioda záznamu dat byla, stejně jako v případě suchých rukavic, 20 s. Měření každého vzorku bylo v průběhu termínu zopakováno ve výsledku 3x, čímž byl získán dostatečný počet dat pro vyhodnocení přesnosti a opakovatelnosti měření.

Ověření metody vlhčení vzdušnou vlhkostí bylo provedeno dne 3. 4. 2019. Rukavice byly uloženy v boxu přes noc z 2. 4. na 3. 4. po dobu cca 12 hodin a následně byl, ve stejném časovém intervalu a se stejnou periodou záznamu dat jako v předchozích případech, proměřen tepelný odpor vlhkých rukavic. Z časových důvodů a vytížení klimatické komory nebylo možné měření zopakovat, a tudíž bylo provedeno pouze jedno měření na každém páru. Vzhledem k ověřené metodě vlhčení, kdy byly opakovaně získány stejné hodnoty nabyté vlhkosti s minimální odchylkou, bylo však předpokládáno, že další měření by měla téměř stejný průběh tepelných odporů, a tudíž i jedno měření bylo považováno za dostačující. Tento předpoklad lze odůvodnit i porovnáním s průběhy tepelných odporů (viz kapitola 6.5) v případě metody Vlhčení ponořením, která byla rovněž opakovaně ověřena a průběhy odporů jsou z jednotlivých měření téměř totožné.

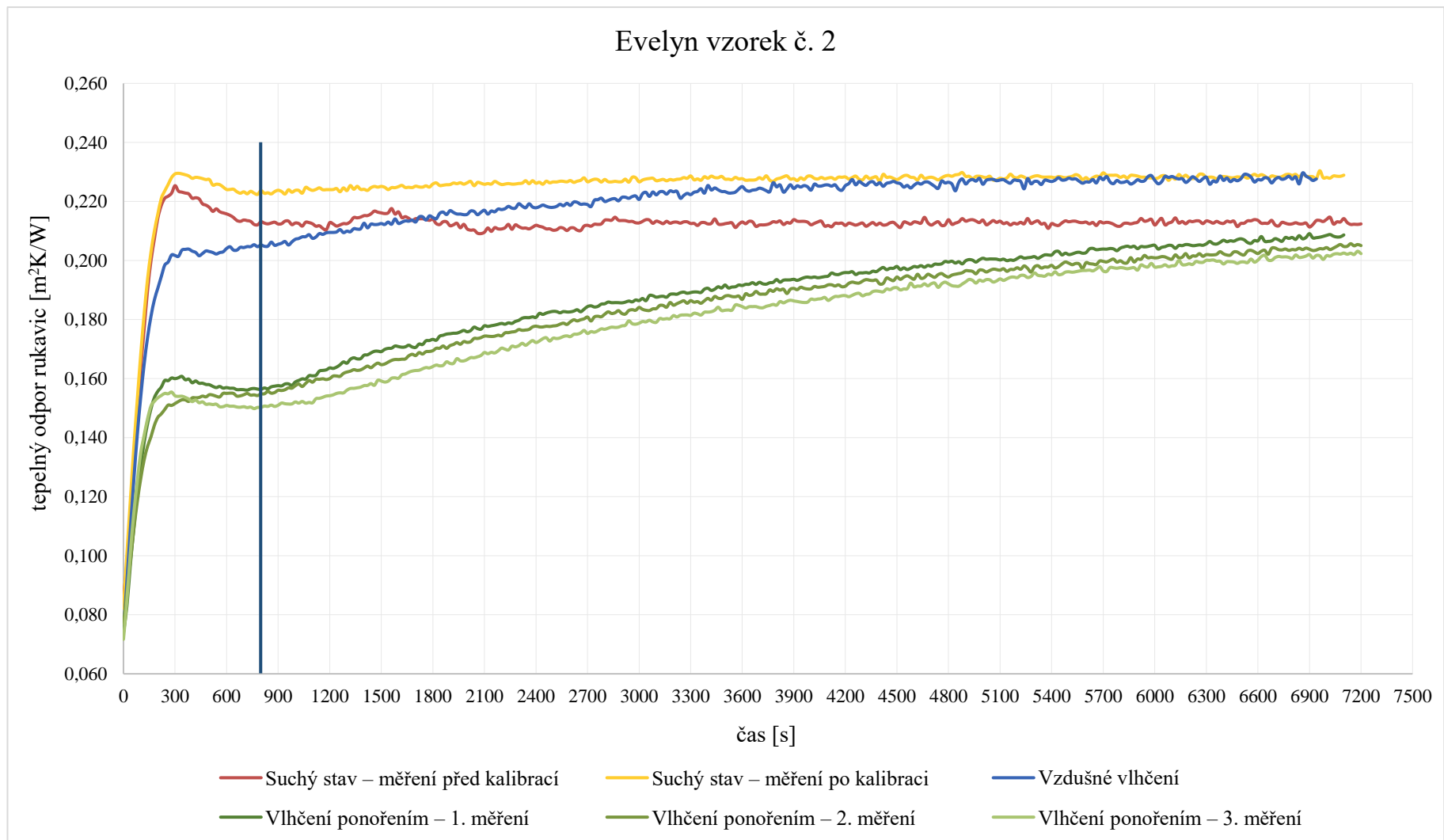
## **6.5 SOUHRNNÉ VÝSLEDKY Z MĚŘENÍ NA TEPELNÉM MANEKÝNOVI**

V případě měření tepelného odporu vlhkých rukavic byl předpokládán dynamický vývoj, a proto jsou následující průběhy tepelných odporů vyneseny v závislosti na čase. Zároveň je každý výsledný průběh průměrem hodnot pravé a levé rukavice. Pro lepší přehlednost jednotlivých průběhů začíná svislá osa od hodnoty 0,060 m<sup>2</sup>K/W.

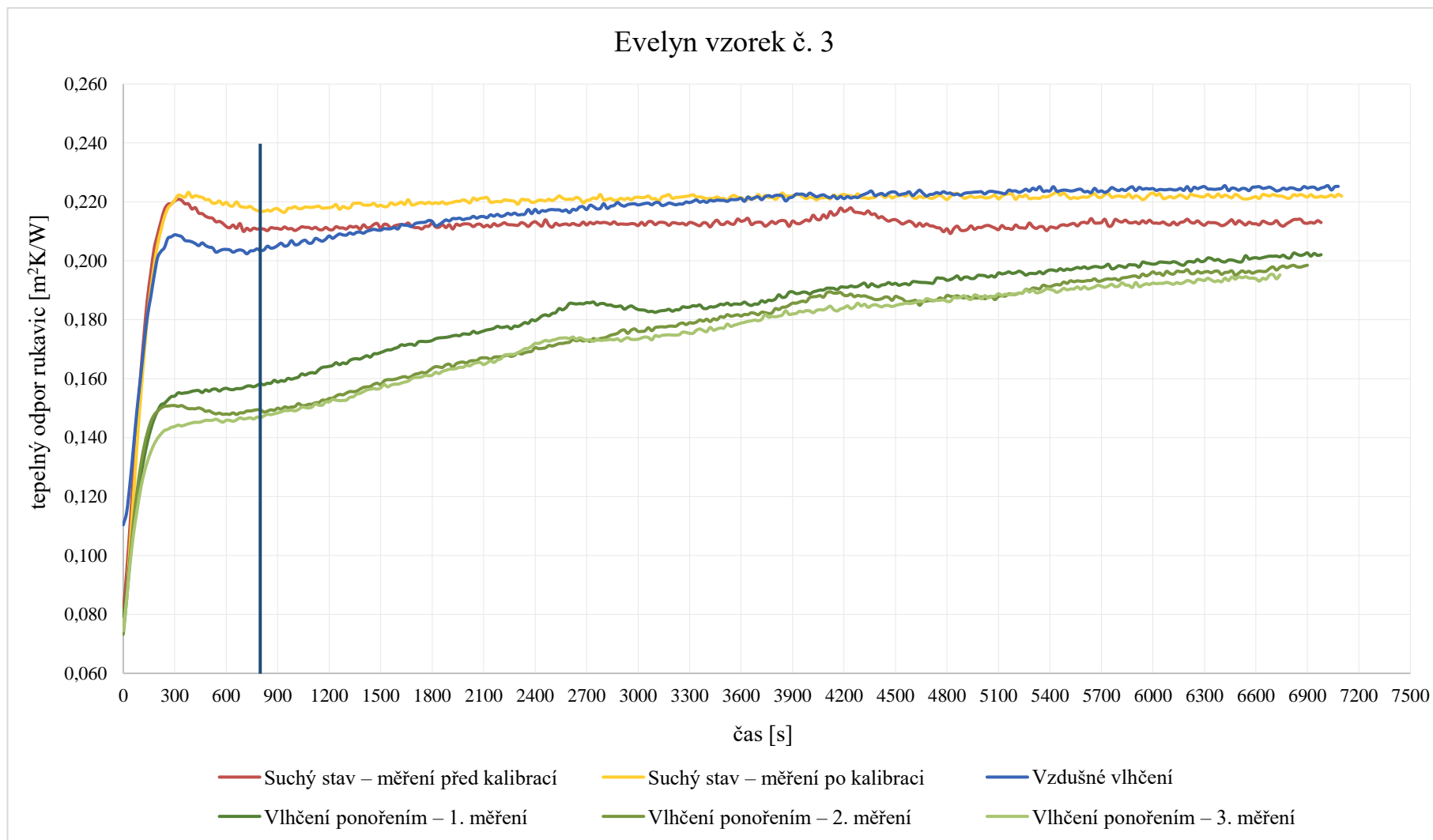




**Obr. 29** Průběhy tepelného odporu rukavic v jednotlivých vlhkostních stavech – **vzorek č. 1**

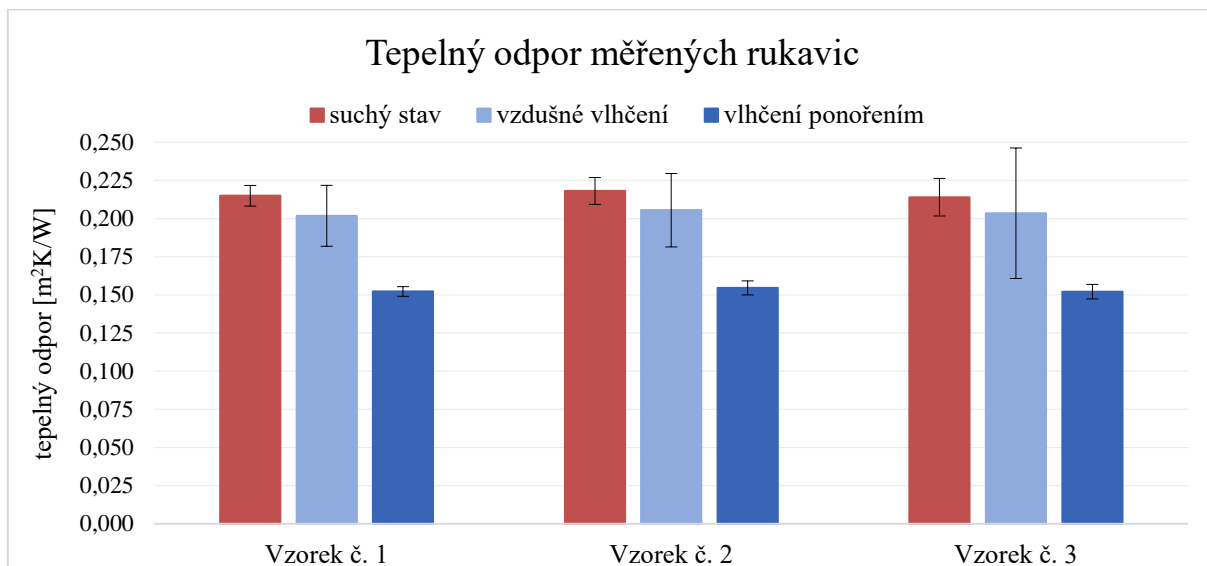


**Obr. 30** Průběhy tepelného odporu rukavic v jednotlivých vlhkostních stavech – **vzorek č. 2**



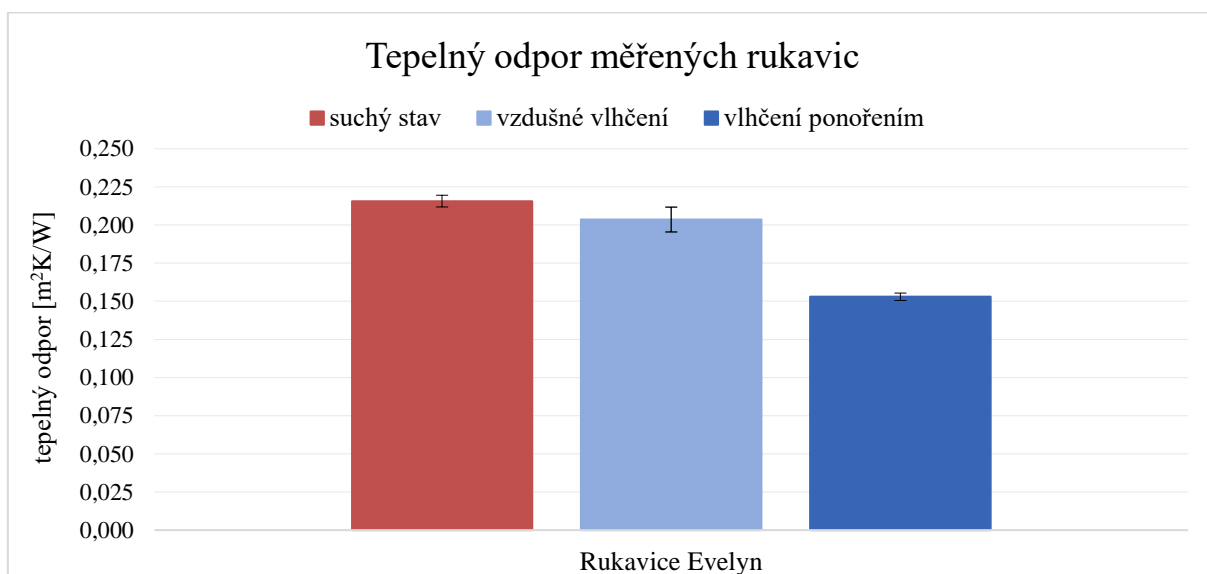
**Obr. 31** Průběhy tepelného odporu rukavic v jednotlivých vlhkostních stavech – vzorek č. 3

Z výše zobrazených průběhů je patrné, že v časovém rozmezí 600–900 s vznikl po nasazení rukavic ustálený úsek, ve kterém je hodnota tepelného odporu téměř konstantní a vliv vlhkosti materiálu na tepelný odpor je stabilní. Hodnoty v tomto úseku byly použity k vyhodnocení měření i nejistoty měření u jednotlivých vlhkostních stavů rukavic. Nejprve byly vyhodnoceny nejistoty měření jednotlivých stavů pro každý vzorek. Hodnoty tepelných odporů párových částí byly sloučeny do jedné průměrné hodnoty. V následujícím čase průběhu je poté možné pozorovat postupné vysychání materiálu rukavic, což je indikováno růstem tepelného odporu.



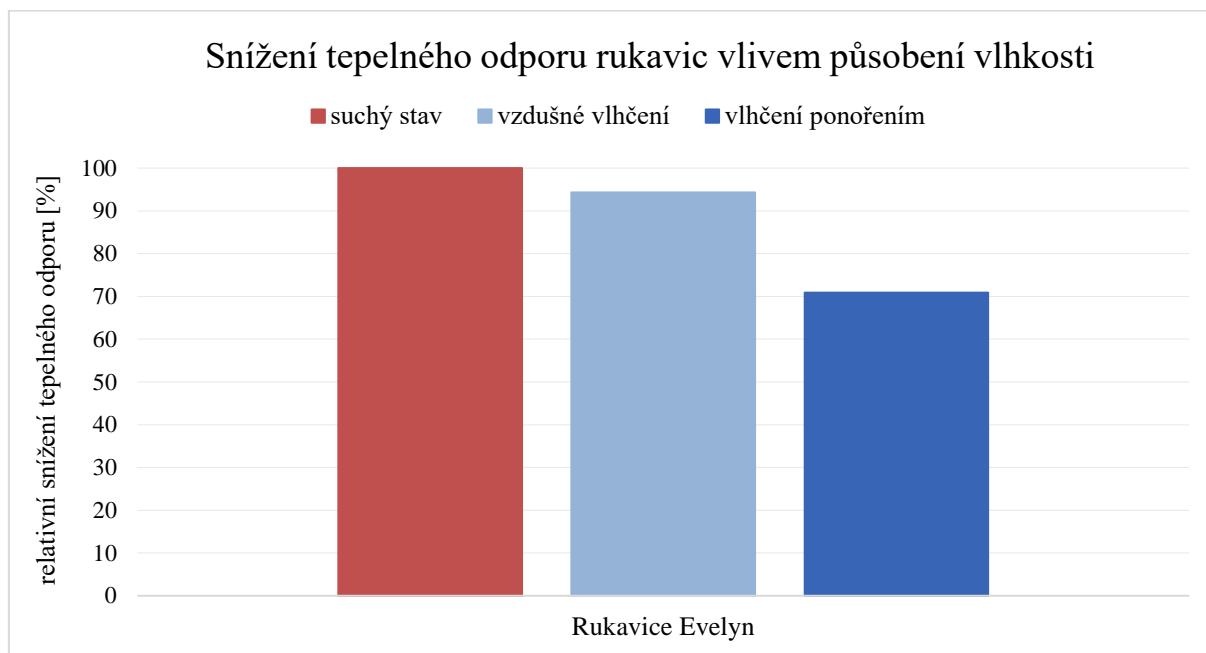
**Obr. 32** Tepelné odpory měřených rukavic, průměrné hodnoty – přehled jednotlivých vzorků se zobrazením chybových úseček rozšířených nejistot typu C (vyšší nejistota u vzdušného vlhčení je dána nižším počtem opakování měření – viz text)

Pro hodnocení tepelného odporu rukavic jako celku byla vyhodnocena nejistota měření pro jednotlivé vlhkostní stavy tak, že hodnoty tepelných odporů jednotlivých vzorků byly sloučeny do jedné průměrné hodnoty.



**Obr. 33** Tepelné odpory měřených rukavic, průměrné hodnoty – přehled rukavic Evelyn jako celku se zobrazením chybových úseček rozšířených nejistot typu C

Pro ilustraci poklesu izolačních vlastností rukavic vlivem působení vlhkosti byl vytvořen následující graf (viz obr. 34).



**Obr. 34** Relativní snížení tepelného odporu rukavic vlivem působení vlhkosti

## 7 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Předmětem diskuze je potvrzení, případně vyvrácení, pracovních hypotéz a poté zhodnocení vlivu vlhkosti na výsledný tepelný odpor rukavic.

### 7.1 POTVRZENÍ/VYVRÁCENÍ HYPOTÉZ

V úvodu experimentální části diplomové práce byly definovány pracovní hypotézy a experimenty, pomocí nichž by bylo možné určit vliv vlhkosti na výsledný tepelný odpor rukavic.

Předmětem hypotézy 1, týkající se způsobu vlhčení rukavic, byl uveden předpoklad, že rukavice lze navlhčit na rozdílnou míru obsahu nabyté vlhkosti, a to se stanovenou nejistotou  $\pm 5 \%$  z výsledné naměřené hodnoty. Byly definovány čtyři experimenty vlhčení, jejichž výsledky jsou prezentovány v tab. 4:

**Tab. 4** Souhrnné výsledky z experimentů vlhčení rukavic

Způsob vlhčení	Obsah nabyté vlhkosti	Nejistota měření
	[%]	[%]
Vzdušné vlhčení	6	$\pm 3,57$
Kontaktní vlhčení	22	$\pm 1,93$
Vlhčení ponořením	na 10 s	$\pm 1,65$
	na 30 s	$\pm 2,28$
Vlhčení v pračce	130	$\pm 3,89$

Ze získaných výsledků je zřejmé, že hypotéza 1 byla potvrzena. Každá metoda vlhčení vykazuje jinou míru navlhčení a hodnota nejistoty, které bylo dosaženo v rámci všech metod, činí  $\pm 3,89 \%$ , čili méně než zvolený cíl  $\pm 5 \%$ .

Podstatou hypotézy 2 bylo následně dodržení a ověření podmínek navržené metodiky měření popsané v kapitole 5.2. Podmínky pro měřicí prostředí klimatické komory byly splněny, stejně jako nastavení povrchové teploty tepelného manekýna na požadovanou hodnotu. Navržená metodika byla mírně modifikována v případě experimentálních vzorků, kdy nebylo možné dodržet požadavky normy ČSN EN 511 na uložení rukavic 24 hodin před zahájením každého měření v měřicím prostředí. Důvodem byla skutečnost, že na počátku definované metodiky vlhčení je sušení vzorků, a tudíž ponechání rukavic v prostředí klimatické komory při měřicích podmínkách  $12^\circ\text{C}$  a  $50\% \text{ RH}$  nebylo možné, jelikož by nikdy nedosáhly zcela suchého stavu.

Dalším krokem druhé hypotézy bylo ověření, zda je možné dosáhnout rovnovážného stavu, který umožní změření tepelného odporu rukavic v daném stavu navlhčení. Prvním krokem bylo zjištění tepelného odporu rukavic v suchém stavu. Na základě informace v kapitole 6.3 ohledně kalibrace tepelného manekýna v průběhu semestru byl za účelem vyhodnocení opakovatelnosti vytvořen souhrnný graf (viz obr. 28), z něhož je patrné, že vypočtené tepelné odpory se po kalibraci tepelného manekýna nepatrně liší. Na základě zobrazených chybových úseček nejistot měření je však zřejmé, že hodnoty dílčích měření leží ve spolehlivostním intervalu průměru obou měření, čímž lze konstatovat, že i přes kalibraci tepelného manekýna je možné při dodržení navržené metodiky měření zajistit dobrou opakovatelnost měření. Průběhy tepelného odporu jednotlivých vzorků rukavic v suchém stavu v závislosti na čase

lze pozorovat na obr. 29–31. Tento stav byl považován jako referenční, a to za účelem srovnání s průběhy vlhčených rukavic.

Dalším postupem bylo měření vlhkých rukavic. Pro nízké navlhčení byla zvolena metoda Vzdušné vlhčení. Průběh tepelného odporu jednotlivých vzorků lze sledovat na obr. 29–31. Z grafů je patrné, že při nasazení rukavic vzniká počáteční přechodový jev, který je asi po 600 s ustálen, a po dobu následujících 300 s je průběh konstantní. Od okamžiku cca 900 s lze zaznamenat rostoucí charakter tepelného odporu, z čehož lze usoudit, že rukavice v důsledku tepelného toku z povrchu rukou tepelného manekýna vysychají. Po uplynutí hodiny měření (3600 s) lze pozorovat splnutí průběhu rukavic vlhčených vzdušnou vlhkostí s průběhem suchého stavu rukavic, důsledkem čehož je zjištění, že na vysušení rukavic vlhčených tímto způsobem je zcela postačující hodina. Hodnota celkové nejistoty měření u této metody (viz obr. 33) je rovna cca  $\pm 3,84 \%$  z naměřené hodnoty.

Metoda, pomocí které byly rukavice schopny nabýt vyšší vlhkosti, byla Vlhčení ponořením po dobu 30 s. Tato metoda byla testována ve třech měřeních, jejichž výsledné průběhy lze pozorovat opět na obr. 29–31. Stejně jako v případě Vzdušného vlhčení, tak i zde je patrný počáteční přechodový jev, který po uplynutí doby 600 s přechází v téměř konstantní průběh a od 900 s nabývá tepelný odpor rukavic rostoucí tendenci. Z průběhů je dále zřejmé, že v důsledku vyššího obsahu nabyté vlhkosti roste i doba potřebná na vyschnutí rukavic a lze pozorovat, že ani po uplynutí doby měření nedošlo k dosažení referenčního stavu suchých rukavic a k úplnému vysušení by byla zapotřebí delší doba měření. Hodnota celkové nejistoty měření u této metody (viz obr. 33) je rovna cca  $\pm 1,56 \%$  z naměřené hodnoty.

Na základě výše uvedeného zhodnocení lze konstatovat potvrzení hypotézy 2, jelikož se v čase 600–900 s vyskytuje u všech měření ustálený stav a je možné zřetelně pozorovat rozdílné hodnoty pro různé stavy navlhčení rukavic.

Následně jsou zhodnoceny výsledky získané na základě předpokladů třetí hypotézy o vlivu vlhkosti materiálu na výsledný tepelný odpor.

Z výsledků měření tepelného odporu a jejich následné grafické interpretace (obr. 29–34) byl potvrzen předpoklad hypotézy 3, že přítomnost vlhkosti ovlivňuje tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů. Z jednotlivých průběhů je evidentní, že čím jsou rukavice navlhčeny na vyšší obsah vlhkosti, tím znatelnější je pokles tepelně izolačního účinku. Lze tedy konstatovat, že vlhkost materiálu má měřitelný vliv na výsledný tepelný odpor rukavic, čímž byla hypotéza 3 potvrzena.

## ZÁVĚR

Cílem předložené diplomové práce bylo nalezení vhodné metodiky na přesné a opakovatelné kondicionování rukavic na požadovanou míru vlhkosti a následně vzorky při definovaných vlhkostech proměřit na tepelném manekýnovi. Z výsledků měření bylo poté dalším cílem prozkoumání dynamiky jevu při nasazení rukavic na tepelného manekýna. Stěžejním bodem práce bylo zhodnocení vlivu vlhkosti materiálu rukavic na jejich výsledný tepelný odpor.

V první části práce byla zpracována rešerše, týkající se tepelné pohody a metabolismu člověka. Nastíněny byly i základy fungování termoregulačního systému lidského organismu a jeho reakcí na teplotní změny okolního prostředí. Jako další téma teoretické části práce byly popsány mechanismy přenosu tepla uplatňující se v kontaktu lidského těla s okolím, pomocí kterých byl odvozen postup pro výpočet tepelného odporu rukavic. V závěru první části jsou stručně uvedeny tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů.

Podstatnou částí diplomové práce je definice pracovních hypotéz a experimentů. První hypotéza představuje popis jednotlivých způsobů vlhčení s podmínkou nejistoty měření  $\pm 5\%$  z výsledné naměřené hodnoty nabyté vlhkosti. Byly definovány metody vlhčení způsobem Vzdušného vlhčení, Kontaktního vlhčení, Vlhčení ponořením, a to na 10 s a 30 s, a Vlhčení v pračce. Dle výsledků vlhčení byla zvolena pro nízkou míru navlhčení metoda Vzdušného vlhčení, kdy činil obsah nabyté vlhkosti cca  $6 \pm 3,57\%$ . Pro vyšší obsah vlhkosti byla zvolena metoda Vlhčení ponořením na dobu 30 s. V tomto případně byly rukavice navlhčeny cca na  $20 \pm 2,28\%$ . S ohledem na dosažené výsledky lze potvrdit splnění předpokladu první pracovní hypotézy.

Obsahem druhé hypotézy byl předpoklad, že existuje ustálený stav, kdy je na manekýnovi možné měřit různé vlhkostní stavy rukavic. Navržený experiment vycházel z metodiky dle norem ČSN EN 511 a ČSN ISO EN 15831. Podle navržené metodiky bylo provedeno měření suchých a vlhkých rukavic. Získané výsledky byly zpracovány do grafické podoby, a to jednak jako závislost tepelného odporu na čase, a jednak jako zobrazení průměrných hodnot tepelného odporu včetně chybových úseček nejistot měření, kdy byl zvolen 95% spolehlivostní interval. Ze získaných výsledků plyne, že vlhké rukavice lze měřit na tepelném manekýnovi a rovněž existuje u všech měření ustálený stav, ve kterém jsou patrné měřitelné rozdíly tepelného odporu v závislosti na míře navlhčení materiálu rukavic. Tímto byla potvrzena i hypotéza 2.

Samostatná kapitola je věnována zhodnocení a diskuzi získaných výsledků. Měřením byl potvrzen předpoklad hypotézy 3 o poklesu tepelného odporu textilního materiálu vlivem vlhkosti. Dle grafického znázornění (viz obr. 34) je evidentní, že čím vyšší je vlhkost materiálu rukavic, tím více klesá tepelný odpor rukavic. U metody Vzdušné vlhčení byl v ustáleném stavu pokles tepelného odporu rukavic oproti suchému stavu o 5,7 %, u Kontaktního vlhčení bylo snížení tepelného odporu znatelnější, a to o 29,1 %.

V důsledku vytížení klimatické komory je nutno podotknout, že měření každého vzorku rukavic proběhlo v daném vlhkostním stavu maximálně 3x. Rukavice vlhčeny vzdušnou vlhkostí byly proměřeny pouze jednou, což se odráží na poměrně vyšší hodnotě nejistoty měření. Naopak měření rukavic navlhčených metodou ponoření bylo zopakováno 3x, a tudíž i rozptyl hodnot je výrazně menší.

Předmětem dalšího výzkumu v návaznosti na tuto práci by mohlo být zajímavým tématem zkoumání vlivu vlhkosti u vnitřních konstrukčních vrstev, kdy by byla testována schopnost materiálu odvádět pot z pokožky rukou, a tím i prodyšnost rukavic.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Info: History of gloves. *Shkirgalant* [online]. b.r. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: [http://www.gloves.com.ua/about\\_glove\\_en.php](http://www.gloves.com.ua/about_glove_en.php)
- [2] 9.1 Human Thermoregulation. *2017 ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition)* [online]. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2018 [cit. 2019-05-09]. ISBN 978-1-5231-1351-4.
- [3] SCOTT, Allene. Biological Rhythms, Shiftwork, and Occupational Health: Circadian Rhythms. *Patty's Toxicology (6th Edition) Volumes 1-6* [online]. John Wiley & Sons, 2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A6PD82/pattys-toxicology-6th/circadian-rhythms>
- [4] GAWLASOVÁ, Ž. *Moderní technologie pro úpravu tepelného prostředí automobilů s alternativními pohony*. Brno, 2017, 45 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Miloš Fojtlín.
- [5] PARSONS, K. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. 2nd ed. New York: Taylor & Francis, 2003. ISBN 0-415-23793-9.
- [6] PSIKUTA, Agnes, Jonas ALLEGRI, Barbara KOELBLIN et al. Thermal manikins controlled by human thermoregulation models for energy efficiency and thermal comfort research – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2017, **78**, 1315-1330 [cit. 2019-01-19]. DOI: 10.1016/j.rser.2017.04.115. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117306202>
- [7] BAURA, Gail. *Medical device technologies: a systems based overview using engineering standards*. Waltham, MA: Elsevier/Academic Press, 2012. Academic Press series in biomedical engineering. ISBN 978-0-12-374976-5.
- [8] JANDOVÁ, Dobroslava. *Balneologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2820-9.
- [9] SCHMIDT, A., R. PAUL, E. CLASSEN, S. MORLOCK a J. BERINGER. Comfort testing and fit analysis of military textiles. *Performance Testing of Textiles* [online]. Elsevier, 2016, s. 25-37 [cit. 2019-03-10]. DOI: 10.1016/B978-0-08-100570-5.00003-7. ISBN 9780081005705. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081005705000037>

- [10] FADLISYAH, M., P. ÖLVECZKY a E. ÁBRAHÁM. Formal Modeling and Analysis of Human Body Exposure to Extreme Heat in HI-Maude. DURÁN, Franciso, ed., F. DURÁN. *Rewriting Logic and Its Applications* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, s. 139-161 [cit. 2019-01-14]. Lecture Notes in Computer Science. DOI: 10.1007/978-3-642-34005-5\_8. ISBN 978-3-642-34004-8. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-34005-5\\_8](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-34005-5_8)
- [11] MÄKINEN, Tiina. Human cold exposure, adaptation and performance in a northern climate. *International Journal of Circumpolar Health* [online]. 2016, **65**(4), 369-370 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.3402/ijch.v65i4.18118. ISSN 2242-3982. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3402/ijch.v65i4.18118>
- [12] CIBSE, . 1. Environmental Criteria for Design. *Environmental Design - CIBSE Guide A (8th Edition)* [online]. CIBSE, 2015, , 1-51 [cit. 2019-01-18]. ISBN 978-1-5231-0688-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0114T5R9/environmental-design/performance>
- [13] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021420294.
- [14] DELL', Roza a Zoja ČUBAROVA. *Hygiena odívání*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
- [15] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [16] FRÖHLICOVÁ, Adéla. *Vliv vlhkosti na tepelně-izolační vlastnosti tkanin pro pracovní oděvy* [online]. Liberec, 2006 [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/87414>. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.
- [17] ČSN EN ISO 9073-12 (806182). *Textilie - Metody zkoušení pro netkané textilie: Část 12: Požadovaná nasákavost*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [18] HOLÍK INTERNATIONAL S.R.O. *Interní dokumenty firmy: Materiálové složení rukavic Evelyn Touchscreen 8301-05*. Zlín, b.r.
- [19] ČSN EN 511. *Ochranné rukavice proti chladu*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [20] ČSN EN ISO 15831. *Oděvy - Fyziologické účinky - Měření tepelné izolace pomocí tepelné figuríny*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [21] ŠTĚTINA, Josef. Klimatická komora. *Energetické fórum* [online]. b.r. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/laboratore/klimaticka-komora>

- [22] FIŠER, Jan. Tepelný manekýn Newton. *Energetické fórum* [online]. b.r. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/pristrojove-vybaveni/tepelnymankyn-newton>
- [23] FOJTLÍN, Miloš a Jan FIŠER. Tepelný manekýn – Možnosti testovania ochranných prostriedkov. *HAZMAT PROTECT 2016* [online]. 2016, , 64–69 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: <http://hazmat-protect.sujchbo.cz/wp-content/uploads/2017/01/Hazmat-2016-Fojtlin-Thermal-manikin-for-protective-equipment-testing-in-Slovak.pdf>
- [24] FIŠER, Jan, Kateřina PIDROVÁ a Róbert TOMA. Stanovení tepelných odporů rukavic pomocí tepelného manekýna. *HAZMAT PROTECT 2016* [online]. 2016, , 55–63 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: <http://hazmat-protect.sujchbo.cz/wp-content/uploads/2017/01/Hazmat-2016-Fiser-Gloves-thermal-resistance-by-thermal-manikin-in-Czech.pdf>
- [25] Testo 435-2 - multifunkční měřicí přístroj. In: *TESTO* [online]. b.r. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-435-2/p/0563-4352>
- [26] Termická sonda proudění s integrovaným měřením teploty a vlhkosti. In: *TESTO* [online]. b.r. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/termicka-sonda-proudeni-s-integrovanym-merenim-teploty-a-vlhkosti/p/0635-1535>
- [27] PALENČÁR, Rudolf, František VDOLEČEK a Martin HALAJ. Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot. *Automa* [online]. 2001, **2001**(7–8) [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10960.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10960.pdf)
- [28] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. Kvalita, quality, Qualität. ISBN 978-80-02-02089-9.
- [29] VDOLEČEK, František a Martin HALAJ. Nejistoty v měření II: nejistoty přímých měření. *Automa* [online]. b.r., **2001**(10) [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: [http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10961.pdf](http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10961.pdf)
- [30] VDOLEČEK, František, Rudolf PALENČÁR a Martin HALAJ. Nejistoty v měření III: nejistoty nepřímých měření. *Automa* [online]. b.r., **2001**(12) [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: [http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10962.pdf](http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10962.pdf)
- [31] FOJTLÍN, Miloš, Jan FIŠER a Miroslav JÍCHA. Determination of convective and radiative heat transfer coefficients using 34-zones thermal manikin: Uncertainty and reproducibility evaluation. *Experimental Thermal and Fluid Science* [online]. 2016, **77**, 257-264 [cit. 2019-04-13]. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2016.04.015. ISSN 08941777. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0894177716300917>
- [32] HANZLÍK, Martin. *Testování částí oděvu pomocí tepelného manekýna*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## SYMBOLY

$a$	součinitel teplotní vodivosti	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
$A$	absorptance	$[-]$
$A_i$	koeficient citlivosti (převodový koeficient)	$[-]$
$b$	tepelná jímavost	$[W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$c$	měrná tepelná kapacita	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
$c_p$	měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
$E_0$	vlastní zářivost černého tělesa	$[W \cdot m^{-2}]$
$E$	vlastní zářivost reálného (šedého) tělesa	$[W \cdot m^{-2}]$
$f_{cl}$	faktor zvětšení povrchu těla oděvem	$[-]$
$I_{TR}$	výsledná tepelná izolace	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
$k_r$	koeficient rozšíření	$[-]$
$k_{uA}$	bezpečnostní faktor	$[-]$
$m$	hmotnost materiálu	$[kg]$
$m_0$	hmotnost materiálu před ponořením	$[kg]$
$m_1$	hmotnost materiálu po ponoření	$[kg]$
$m_s$	hmotnost suchého vzorku rukavic	$[kg]$
$m_v$	hmotnost navlhčeného vzorku rukavic	$[kg]$
$n$	počet opakování měření	$[-]$
$N$	nasákavost materiálu	$[\%]$
$\dot{q}$	hustota tepelného toku	$[W \cdot m^{-2}]$
$\dot{q}_k$	hustota tepelného toku odvedená konvekcí	$[W \cdot m^{-2}]$
$\dot{q}_{ved}$	hustota tepelného toku odvedená vedením	$[W \cdot m^{-2}]$
$\dot{Q}_C$	tepelný tok odvedený konvekcí	$[W]$
$\dot{Q}_E$	tepelný tok odvedený vypařováním	$[W]$
$\dot{Q}_K$	tepelný tok odvedený vedením	$[W]$
$\dot{Q}_M$	metabolický tepelný tok	$[W]$

$\dot{Q}_R$	tepelný tok odvedený zářením	[W]
$\dot{Q}_S$	akumulovaná tepelná energie	[W]
$R$	reflektance	[–]
$R_{cl}$	tepelný odpor oděvu	[m <sup>2</sup> · K · W <sup>-1</sup> ]
$R_a$	měrný tepelný odpor vedením tepla vzduchovou vrstvou	[m <sup>2</sup> · K · W <sup>-1</sup> ]
$R_g$	měrný tepelný odpor vedením tepla rukavicí	[m <sup>2</sup> · K · W <sup>-1</sup> ]
$R_\alpha$	měrný tepelný odpor vrstvy proti přenosu tepla konvekci	[m <sup>2</sup> · K · W <sup>-1</sup> ]
$R_\lambda$	měrný tepelný odpor vrstvy proti vedení tepla	[m <sup>2</sup> · K · W <sup>-1</sup> ]
$R_{TOT}$	celkový tepelný odpor	[m <sup>2</sup> · K · W <sup>-1</sup> ]
$s_y$	směrodatná odchylka z opakovaně naměřených hodnot	[dané veličinou]
$t_a$	teplota vzduchu	[°C]
$t_r$	střední radiační teplota	[°C]
$t_s$	teplota pokožky	[°C]
$t_\infty$	teplota okolního prostředí	[°C]
$T$	transmitance	[–]
$T_A$	střední teplota vzduchu v klimatizační komoře	[°C]
$T_{HAND}$	střední teplota povrchu měřené oblasti ruky	[°C]
$T_W$	teplota povrchu obtékaného tělesa	[K]
$T_\infty$	teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu	[K]
$\frac{dT}{dx}$	teplotní gradient, kde osa $x$ značí směr šíření tepla	[K · m <sup>-1</sup> ]
$u_{Ay}$	nejistota typu A	[dané veličinou]
$u_{By}$	nejistota typu B	[dané veličinou]
$u_{Cy}$	celková nejistota	[dané veličinou]
$u(x_i)$	nejistota měření proměnné veličiny	[dané veličinou]
$u_{t_s}$	nejistota měření teploty povrchu ruky	[°C]
$u_{t_\infty}$	nejistota měření teploty okolí	[°C]
$u_{\dot{q}}$	nejistota měření tepelného toku	[W · m <sup>-2</sup> ]
$U$	rozšířená nejistota měření	[dané veličinou]
$w$	rychlost proudění vzduchu	[m · s <sup>-1</sup> ]

$y_i$	i-tá naměřená hodnota	[dané veličinou]
$\bar{y}$	aritmetický průměr naměřených hodnot	[dané veličinou]
$\alpha$	součinitel přestupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$\delta$	tloušťka vrstvy při přenosu tepla vedením	[m]
$\varepsilon$	poměrná zářivost, $0 \leq \varepsilon \leq 1$	[-]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\rho$	hustota materiálu	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\sigma$	Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$
$\varphi$	relativní vlhkost vzduchu	[%]
$\Delta m$	váhový rozdíl	[kg]
$\Delta Q$	množství tepla	[J]
$\Delta t$	rozdíl teplot	[K]

## ZKRATKY

<i>FSI</i>	Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně
<i>OTTP</i>	Odbor termomechaniky a techniky prostředí
<i>PES</i>	polyester
<i>rpm</i>	revolutions per minute = otáčky za minutu
<i>RH</i>	relative humidity = relativní vlhkost
<i>VUT</i>	Vysoké učení technické v Brně